Ε.Γ.Μ.Ε. Εταιρία Γεωργικών Μηχανικών Ελλάδος

Πρακτικά

8ου ΕΘΝΙΚΟΥ ΣΥΝΕΔΡΙΟΥ ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ

«Η Γεωργική Μηχανική μοχλός ανάπτυξης του αγροτικού τομέα»

25 & 26 Σεπτεμβρίου 2013
Βόλος

ΠΡΑΚΤΙΚΑ
8ου ΕΘΝΙΚΟΥ ΣΥΝΕΔΡΙΟΥ ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ
ΕΤΑΙΡΕΙΑ ΓΕΩΡΓΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΕΛΛΑΔΟΣ (ΕΓΜΕ)
Βόλος, 25-26 Σεπτεμβρίου 2013.
Επιμέλεια πρακτικών: Δημήτρης Κατέρης,
Γ. Γραμματέας ΕΓΜΕ
Υπ. Διδάκτορας ΑΠΘ

Νικόλαος Κατσούλας
Πρόεδρος ΕΓΜΕ, Επικ. Καθηγητής ΠΘ

Επιμέλεια Εξώφυλλου: Δρ. Χ. Καβαλάρης, Υπάλληλος ΙΔΑΧ ΠΘ

ΕΤΑΙΡΕΙΑ ΓΕΩΡΓΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΕΛΛΑΔΟΣ (ΕΓΜΕ)
HELLENIC SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS (HelAgEng)

ΠΡΑΚΤΙΚΑ
8ου ΕΘΝΙΚΟΥ ΣΥΝΕΔΡΙΟΥ ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ

Η Γεωργική Μηχανική
μοχλός ανάπτυξης του αγροτικού τομέα

Βόλος, 25 και 26 Σεπτεμβρίου 2013

Υπό την Αιγίδα του Υπουργείου Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων

Συνδιοργάνωση:
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
Εθνικό Κέντρο Έρευνας και Τεχνολογικής Ανάπτυξης
Τεχνολογικό Εκπ. Ίδρυμα Θεσσαλίας

8ο Εθνικό Συνέδριο Γεωργικής Μηχανικής

Οργανωτική Επιτροπή

Ν. Κατσούλας, Επίκουρος Καθηγητής Π.Θ., *Πρόεδρος ΟΕ*
Κ. Κίττας, Καθηγητής Π.Θ.
Θ. Γέμτος, Καθηγητής Π.Θ.
Μ. Σακελλαρίου- Μακραντωνάκη, Καθηγ. Π.Θ.
Θ. Μπαρτζάνας, Ερευνητής ΚΕΤΕΑΘ
Β. Αντωνιάδης, Λέκτορας Π.Θ.
Χ. Καβαλάρης, Δρ. Γεωπόνος, Υπάλληλος Π.Θ.
Θ. Λέλλης, Αν. Καθηγητής, ΤΕΙ Λάρισας
Δ. Καλφούντζος, Αν. Καθηγητής, ΤΕΙ Λάρισας
Ι. Γράβαλος, Επικ. Καθηγητής, ΤΕΙ Λάρισας
Θ. Γιαλαμάς, Επικ. Καθηγητής, ΤΕΙ Λάρισας
Δ. Κατέρης, Υπ. Διδάκτ., Αριστοτ. Πανεπ. Θ.

Επιστημονική Επιτροπή

Ακριτίδης Κωνσταντίνος, Ομότιμος Καθηγητής Α.Π.Θ.
Αλεξανδρής Σταύρος, Επίκ. Καθηγητής Γ.Π.Α.
Αλεξάνδρου Αθανάσιος, California State University
Αλεξίου Ιωάννης, Ερευνητής ΕΘΙΑΓΕ
Αμπατζίδης Ιωάννης, University of Washington
Αναστασιάδου – Παρθενίου Ευαγγελία, Ομ. Καθ. Α.Π.Θ
Αντωνιάδης Βασίλειος, Λέκτορας Π.Θ.
Αντωνόπουλος Βασίλειος, Καθηγητής Α.Π.Θ.
Αραμπατζής Γεώργιος, Ερευνητής ΕΘΙΑΓΕ
Αρβανίτης Κωνσταντίνος, Επίκ. Καθηγητής Γ.Π.Α.
Αργυροκαστρίτης Ιωάννης, Αν. Καθηγητής Γ.Π.Α.
Βαλιάντζας Ιωάννης, Καθηγητής Γ.Π.Α.
Βελλίδης Γεώργιος, University of Georgia
Βουγιούκας Σταύρος, Επίκ. Καθηγητής Α.Π.Θ.
Βύρλας Παναγιώτης, Επίκ. Καθηγητής Τ.Ε.Ι. Λάρισας
Γέμτος Θεοφάνης, Καθηγητής Π.Θ.
Γεωργακάκης Δημήτριος, Καθηγητής Γ.Π.Α.
Γεωργίου Πανταζής, Επίκ. Καθηγητής Α.Π.Θ.
Γιαλαμάς Θεόδωρος, Επίκ. Καθηγητής Τ.Ε.Ι. Λάρισας
Γιαννόπουλος Σταύρος, Ομότιμος Καθηγητής Α.Π.Θ
Γιαννούλη Περσεφόνη, Επίκ. Καθηγήτρια Π.Θ.
Γράβαλος Ιωάννης, Επίκ. Καθηγητής Τ.Ε.Ι. Λάρισας
Δαναλάτος Νικόλαος, Καθηγητής Π.Θ.
Δέρκας Νικόλαος, Επίκ. Καθηγητής Γ.Π.Α.
Δημήρκου Ανθούλα, Καθηγήτρια Π.Θ.
Ελμαλόγλου Σταμάτιος, Καθηγητής Γ.Π.Α.
Ζήσης Θωμάς, Καθηγητής Α.Π.Θ.
Θεοχάρης Μενέλαος, Αν. Καθηγητής, Τ.Ε.Ι Ηπείρου
Καλύβας Διονύσιος, Επίκ. Καθηγητής Γ.Π.Α.
Καλφούτζος Δημήτριος, Αν. Καθηγητής Τ.Ε.Ι. Λάρισας
Καραβίτης Χρήστος, Επίκ. Καθηγητής Γ.Π.Α.
Καραμούζης Διαμαντής, Καθηγητής Α.Π.Θ.
Καραντούνιας Γεώργιος, Καθηγητής Γ.Π.Α.
Κάργας Γιώργος, Επίκ. Καθηγητής Γ.Π.Α.
Καρπούζος Δημήτριος, Επίκ. Καθηγητής Α.Π.Θ.
Κατσούλας Νικόλαος, Επίκ. Καθηγητής Π.Θ.
Καυγά Αγγελική, Επικ. Καθηγήτρια ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδας
Κερκίδης Πέτρος, Καθηγητής Γ.Π.Α.
Κίττας Κωνσταντίνος, Καθηγητής Π.Θ.

Κόκκορας Ιωάννης, Καθηγητής Τ.Ε.Ι. Λάρισας
Κοσμάς Κωνσταντίνος, Καθηγητής Γ.Π.Α.
Κωτσόπουλος Θωμάς, Επίκ. Καθηγητής Α.Π.Θ.
Κωτσόπουλος Σπύρος, Αν. Καθηγητής Τ.Ε.Ι. Λάρισας
Λαμπρινός Γρηγόριος Καθηγητής Γ.Π.Α.
Λέλλης Θεμιστοκλής, Αν. Καθηγητής Τ.Ε.Ι. Λάρισας
Λουκάς Αθανάσιος, Καθηγητής Π.Θ.
Μανωλοπούλου Ελένη, Καθηγήτρια ΤΕΙ Καλαμάτας
Μαρτζόπουλος Γεράσιμος, Ομότιμος Καθηγητής Α.Π.Θ.
Ματσή Θεοδώρα, Επίκ. Καθηγήτρια Α.Π.Θ.
Μαυρογιαννόπουλος Γεώργιος, Καθηγητής Γ.Π.Α.
Μιμίδης Θεολόγος, Αν. Καθηγητής Γ.Π.Α.
Μόσχου Δημήτριος, Επίκ. Καθηγητής Α.Π.Θ.
Μουστάκας Νικόλαος, Καθηγητής Γ.Π.Α.
Μπαμπατζιμόπουλος Χρήστος, Καθηγητής Α.Π.Θ.
Μπαρζάνας Θωμάς, Ερευνητής ΚΕ.ΤΕ.Α.Θ.
Μπαρμπαγιάννης Νικόλαος, Καθηγητής Α.Π.Θ.
Μπόχτης Διονύσιος, Αν. Καθηγητής, Aarhus University
Μπριασούλης Δημήτριος, Καθηγητής Γ.Π.Α.
Μυγδάκος Ευθύμιος, Αν. Καθηγητής Π. Ιωαννίνων
Μυρωνίδης Δημήτριος, Λέκτορας Α.Π.Θ.
Μυστριώτης Αντώνης, Γ.Π.Α.
Νάνος Γεώργιος, Αν. Καθηγητής Π.Θ.
Νάτσης Αθανάσιος, Επίκ. Καθηγητής Γ.Π.Α.
Νικήτα – Μαρτζοπούλου Χρυσούλα, Καθηγήτρια Α.Π.Θ.
Ντιούδης Πασχάλης, Καθηγητής Τ.Ε.Ι. Λάρισας
Ξανθόπουλος Γεώργιος, Επίκ. Καθηγητής Γ.Π.Α.
Παναγάκης Παναγιώτης, Επίκ. Καθηγητής Γ.Π.Α.
Πανώρας Αθανάσιος, Ερευνητής Ε.Θ.Α.Γ.Ε.
Παπαδάκης Γεώργιος, Καθηγητής Γ.Π.Α.
Παπαδόπουλος Αριστοτέλης, Ερευνητής ΕΘΙΑΓΕ
Παπαδόπουλος Φραντζής, Ερευνητής ΕΘΙΑΓΕ
Παπαϊωάννου Χρυσούλα, Επίκ. Καθηγήτρια Τ.Ε.Ι. Λάρισας
Παπαμιχαήλ Δημήτριος, Καθηγητής Α.Π.Θ.
Παπαναστασίου Δημήτρης, Συνεργ. Ερευνητής ΕΚΕΤΑ
Παρισόπουλος Γεώργιος, Ερευνητής ΕΘΙΑΓΕ
Πατέρας Δημήτριος, Καθηγητής Τ.Ε.Ι. Λάρισας
Παυλάτου – Βε Αθηνά, Αν. Καθηγήτρια Α.Π.Θ.
Σακελλαρίου- Μακραντωνάκη Μαρία, Καθηγήτρια Π.Θ.
Σαπουνάς Αθανάσιος, Wageningen University
Συγριμής Νικόλαος, Καθηγητής Γ.Π.Α.
Τελόγλου Ηλίας, Αν. Καθηγητής Α.Τ.Ε.Ι.Θ
Τερζίδης Γεώργιος, Ομότιμος Καθηγητής Α.Π.Θ
Τζιμόπουλος Χρήστος, Ομότιμος Καθηγητής Α.Π.Θ
Τούλιος Λεωνίδας, Ερευνητής ΕΘΙΑΓΕ
Τσατσαρέλης Κωνσταντίνος, Ομότιμος Καθηγητής Α.Π.Θ.
Τσιρογιάννης Γιάννης, Επίκ. Καθηγητής ΤΕΙ Ηπείρου
Φουντάς Σπύρος, Επίκ. Καθηγητής Π.Θ.
Φείδαρος Δημήτρης, Συνεργ. Ερευνητής ΕΚΕΤΑ
Χαϊντούτη Κωνσταντίνα, Καθηγήτρια Γ.Π.Α.
Χαλκίδης Ηρακλής, Λέκτορας Π.Θ.
Χαρτζουλάκης Κωνσταντίνος, Ερευνητής ΕΘΙΑΓΕ
Χατζηγιαννάκης Ευάγγελος, Ερευνητής ΕΘΙΑΓΕ

8ο Εθνικό Συνέδριο Γεωργικής Μηχανικής

Χορηγοί του συνεδρίου

- Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων
- Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
- ΤΕΙ Θεσσαλίας

- SCIENTACT Α.Ε.
- Πλαστικά Κρήτης Α.Ε.
- Σύνδεσμος Εισαγωγέων Αντιπροσώπων Μηχανημάτων
- TERRA Α.Ε.

Πρόλογος

Το 8ο Εθνικό Συνέδριο της Εταιρείας Γεωργικών Μηχανικών Ελλάδας (ΕΓΜΕ) «Η γεωργική μηχανική μοχλός ανάπτυξης του αγροτικού τομέα»διοργανώνεται στις 25 & 26 Σεπτεμβρίου 2013 στη Σχολή Γεωπονικών Επιστημών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας με συνδιοργανωτές το Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, το ΤΕΙ Θεσσαλίας και το Εθνικό Κέντρο Έρευνας και Τεχνολογικής Ανάπτυξης.

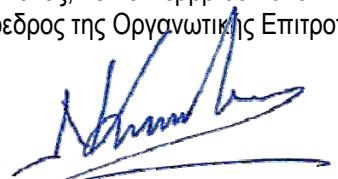
Σκοπός του συνεδρίου που διοργανώνεται κάθε δύο έτη είναι να φέρει σε επαφή τους ανθρώπους που δραστηριοποιούνται στον τομέα της Γεωργικής Μηχανικής ώστε να υπάρξουν συνεργασίες που θα ενισχύσουν τη δραστηριότητα τους και να γίνει γνωστή η έρευνα που εκτελείται στη χώρα. Παράλληλα, γίνεται προσπάθεια να υπάρξει επαφή με τις βιομηχανίες που καλύπτουν αντικείμενα του κλάδου με στόχο την καλύτερη επαφή για αμοιβαίο όφελος. Στο πλαίσιο του Συνεδρίου γίνονται συζητήσεις για την εκπαίδευση των Γεωργικών Μηχανικών στη χώρα και διεθνώς.

Οι συγκυρίες των τελευταίων ετών έχουν οδηγήσει την Ελληνική Γεωργία σε πολλά αδιέξοδα. Οι αγρότες και οι βιομηχανίες του αγροτικού τομέα βρίσκονται σε αμηχανία πως πρέπει να ανταποκριθούν στις απαιτήσεις της νέας κατάστασης. Οι Γεωργικοί Μηχανικοί και οι Μηχανικοί Βιοσυστημάτων που συνδυάζουν τις επιστήμες των Μηχανικών με τις επιστήμες της Βιολογίας, του Περιβάλλοντος και της Γεωπονίας, θα πρέπει να εργασθούν ακόμη πιο εντατικά προκειμένου να συμβάλλουν στην ανάπτυξη νέων, αποδοτικών και περιβαλλοντικά ασφαλών μεθόδων για την παραγωγή αγροτικών προϊόντων. Παράλληλα, καθώς το κόστος των εισροών αυξάνεται συνεχώς στις αγροτικές επιχειρήσεις, οι Γεωργικοί Μηχανικοί πρέπει να μεγιστοποιήσουν την αξιοποίηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας έτσι ώστε να οδηγήσουν στη δημιουργία ενεργειακά αυτόνομων αγροκτημάτων, πάντα επ' ωφελεία των αγροτών και της χώρας. Θεωρούμε ότι το 8ο Συνέδριο θα συμβάλλει ουσιαστικά στην προώθηση κατάλληλων λύσεων στα παραπάνω θέματα. Η διαχείριση των υδατικών και εδαφικών πόρων αποκτούν ιδιαίτερη σημασία και πολλές από τις εργασίες του συνεδρίου δίνουν νέες ιδέες και λύσεις. Η εκμηχάνιση της γεωργίας συμβάλλει στη διατήρηση μιας οικονομικά βιώσιμης γεωργίας στη χώρα μας. Σημαντική συμβολή στη βελτίωση της ανταγωνιστικότητας της γεωργίας της χώρας, στη μείωση των αρνητικών επιπτώσεων στο περιβάλλον και στην καλύτερη αξιοποίηση των φυσικών πόρων προσφέρουν οι εφαρμογές των νέων τεχνολογιών στη γεωργία, η τεχνολογία των καλλιεργειών υπό κάλυψη και η συντήρηση και μεταποίηση των προϊόντων.

Στο συνέδριο υπεβλήθησαν περισσότερες από 130 περιλήψεις και τελικά έγιναν δεκτές 107 πλήρεις εργασίες που θα παρουσιαστούν προφορικά και γραπτά στις τρεις παράλληλες συνεδριάσεις του συνεδρίου. Πιστεύουμε ότι και αυτό το συνέδριο θα ακολουθήσει την επιτυχία των προηγούμενων συνεδρίων της ΕΓΜΕ

Με την ευκαιρία αυτή θέλω να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στην Οργανωτική Επιτροπή και στους συντελεστές οργάνωσης αυτού του συνεδρίου, στους αξιολογητές των εργασιών που υπεβλήθησαν και στον Υπ. Διδάκτορα του ΑΠΘ και Γραμματέα της ΕΓΜΕ κ. Δ. Κατέρη, καθώς χάρη στην εργασία του έγινε δυνατή η καλή οργάνωση του συνεδρίου. Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τους χορηγούς του συνεδρίου οι οποίοι συνέβαλαν οικονομικά στη διοργάνωση του συνεδρίου ιδιαίτερα αυτή την δύσκολη οικονομικά περίοδο.

Βόλος, 25 Σεπτεμβρίου 2013
Ο Πρόεδρος της Οργανωτικής Επιτροπής



Επικ. Καθηγητής Ν. Κατσούλας

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΓΕΩΡΓΙΚΑ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΑ - ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΙ

ΣΥΣΤΗΜΑ ΔΙΑΓΝΩΣΗΣ ΒΛΑΒΩΝ ΣΕ ΜΗΧΑΝΙΚΟ ΚΙΒΩΤΙΟ ΣΧΕΣΕΩΝ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΠΟΛΥΣΤΡΩΜΑΤΙΚΩΝ ΝΕΥΡΩΝΙΚΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ 2
Δ. Κατέρης, Δ. Μόσχου, Ι. Γράβαλος, Θ. Γιαλαμάς, Π. Ξυραδάκης

ΣΥΣΤΗΜΑΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΧΡΟΝΙΚΗΣ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗΣ ΤΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ ΣΤΗ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗ ΣΕ ΕΝΑ ΜΑΚΡΟΧΡΟΝΙΟ ΠΕΙΡΑΜΑ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΩΝ 7
Χ. Καβαλάρης, Χ. Καραμούτης, Δ. Αναγνωστόπουλος, Σ. Φουντάς και Θ.Α. Γέμτος

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΟΝΗΣΕΩΝ ΣΤΟ ΘΑΛΑΜΟ ΧΕΙΡΙΣΜΟΥ ΤΩΝ ΕΛΚΥΣΤΗΡΩΝ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΓΕΩΡΓΙΚΩΝ ΕΡΓΑΛΕΙΩΝ 12
Θ. Γιαλαμάς, Ι. Γράβαλος, Δ. Κατέρης, Μ. Γιαλαμά, Π. Ξυραδάκης, Α. Γιαλαμά, Χ. Δημητριάδης, Ζ. Τσιρόπουλος

ΣΥΜΒΟΛΗ ΚΟΣΤΟΥΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΚΑΙ ΕΠΙΣΚΕΥΩΝ ΣΤΟ ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΛΕΙΤΟΥΓΙΑΣ ΤΟΥ ΓΕΩΡΓΙΚΟΥ ΕΛΚΥΣΤΗΡΑ 17
Δ. Β. Αναγνωστόπουλος, Σπ. Φουντάς, Χρ. Καβαλάρης, Θ.Α. Γέμτος

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ ΧΡΗΣΗΣ ΕΛΚΥΣΤΗΡΑ ΚΑΙ ΠΑΡΕΛΚΟΜΕΝΩΝ ΓΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΣΙΤΗΡΩΝ ΚΑΙ ΒΑΜΒΑΚΟΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ 22
Ε. Σαμούρης, Δ. Σταφυλά, Π. Μαντά, Σπ.Φουντάς, Χ. Καβαλάρης, Α. Γέμτος

ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΓΕΩΡΓΙΚΟΥ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ ΚΑΙ Η ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΗΣ ΣΤΟ ΚΟΣΤΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ 26
Δ. Β. Αναγνωστόπουλος , Σπ., Φουντάς, Σ. Παστόπουλος, Α. Φυντανής, Θ.Α. Γέμτος

ΕΔΑΦΙΚΟΙ ΠΟΡΟΙ

ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ, ΤΟΥ P, ΤΟΥ N ΚΑΙ ΖΙΖΑΝΙΟΚΤΟΝΟΥ ΣΤΗΝ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΩΝ ΦΥΚΩΝ ΟΡΥΖΩΝΩΝ ΚΑΙ ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΦΥΚΩΝ ΣΤΗ ΓΟΝΙΜΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ 32
Σ. Κουκούλη, Ν. Πετρίδου, Α. Παυλάτου-Βε, Σ. Τσιούρης

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΙΛΥΟΣ ΒΙΟΛΟΓΙΚΟΥ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΑΝΟΡΓΑΝΗΣ ΛΙΠΑΝΣΗΣ ΣΤΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΙΑΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ ΑΡΑΒΟΣΙΤΟΥ 37
Ι. Διαμαντούλης και Β. Αντωνιάδης

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΛΙΠΑΝΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΣΤΑ ΒΑΣΙΚΑ ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΤΟΜΑΤΑΣ ΣΤΗΝ ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΕΛΛΑΔΑ 42
Δ. Καλφούντζος, Ν. Γκουγκουλιάς, Χ. Παπαϊωάννου, Π. Βύρλας, Δ. Ζέρβας, Μ. Κόκκορα, Δ. Πατέρας

ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΑΛΑΤΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ ΜΕ ΤΗΝ ΒΟΗΘΕΙΑ ΔΙΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΣΥΣΚΕΥΩΝ 47
Γ. Κάργας και Π. Κερκίδης

ΔΙΑΘΕΣΙΜΟΤΗΤΑ ΦΩΣΦΟΡΟΥ ΣΕ *LOLIUM PERENNE* L. ΣΕ ΕΔΑΦΗ ΟΞΙΝΑ ΠΟΥ ΕΧΟΥΝ ΒΕΛΤΙΩΘΕΙ ΜΕ ΠΡΟΣΘΗΚΗ ΑΝΘΡΑΚΙΚΟΥ ΑΣΒΕΣΤΙΟΥ 52
Β. Αντωνιάδης, Π. Μαλτέζος, Χ. Χούμος, Σ. Κουτρούμπας

ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΩΝ ΒΙΟΛΟΓΙΚΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΕΝΟΣ ΙΛΥΟΠΗΛΩΔΟΥΣ ΕΔΑΦΟΥΣ ΜΕΤΑ ΑΠΟ ΚΑΤΑΚΛΥΣΗ ΚΑΙ ΟΡΥΖΟΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΣΤΗ ΣΤΑΘΕΡΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΔΟΜΗΣ 57
Χ. Καλλιτσάρη, Σ.Κ. Κωστοπούλου, Β. Ασχονίτης

ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΤΟΥ ΖΕΟΛΙΘΟΥ ΚΑΙ ΤΟΥ ΓΚΑΙΤΙΤΗ ΣΤΗΝ ΠΡΟΣΛΗΨΗ ΤΟΥ ΕΞΑΣΘΕΝΟΥΣ ΧΡΩΜΙΟΥ ΣΤΗΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΤΟΥ ΣΠΑΝΑΚΙΟΥ 61
Αικ. Μόλλα, Α. Δημήρκου, Β. Αντωνιάδης, Κ. Λιάκου, Αικ. Μαρκοπούλου, Αθ. Ντόβας, Κ. Γεωργίου

ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΠΑΡΑΛΛΑΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΑΖΩΤΟΥ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΙΣΗΣ ΑΠΟ ΜΗ ΕΠΑΝΔΡΩΜΕΝΟ ΕΛΙΚΟΠΤΕΡΟ ΓΙΑ ΤΗΝ ΟΡΘΟΛΟΓΙΚΗ ΛΙΠΑΝΣΗ ΤΟΥ ΚΑΛΑΜΠΟΚΙΟΥ 66
Μ. Ιατρού, Α. Παπαδόπουλος, Φ. Παπαδόπουλος, Π. Ψωμά, Α. Μπούντλα, Σ. Θεοδωρίδου, Κ. Καλογερόπουλος, Σ. Κυπαρίσση

ΩΣΜΩΤΙΚΗ ΚΑΙ ΥΔΑΤΙΚΗ ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΗ ΦΥΤΩΝ ΚΑΛΑΜΠΟΚΙΟΥ. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΙΣ. 71
Ε. Λεκάκης, Π. Παμπουκίδου, Β. Αντωνόπουλος

ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ ΚΑΟΛΙΝΙΤΗ ΑΠΟ ΤΗΝ ΜΗΛΟ, ΛΗΜΝΟ ΚΑΙ ΚΩ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΟΥΣ ΜΕ ΔΕΙΓΜΑ ΚΑΟΛΙΝΙΤΗ ΤΗΝ GEORGIA, Η.Π.Α. 77
Κωνσταντίνος Προδρόμου

Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΠΡΟΣΡΟΦΗΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΣΕ ΥΔΑΤΑ ΚΑΙ ΣΕ ΦΥΤΑ ΠΟΥ ΚΑΛΛΙΕΡΓΗΘΗΚΑΝ ΣΕ ΕΔΑΦΗ ΕΠΙΒΑΡΥΜΕΝΑ ΜΕ ΦΩΣΦΟΡΟ 83
Ε. Μπρόζου, Ζ. Ιωάννου, Α. Δημήρκου, Β. Αντωνιάδης

ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ ΟΡΓΑΝΙΚΗΣ ΟΥΣΙΑΣ ΣΤΟ ΕΔΑΦΟΣ ΣΕ ΕΝΑ ΜΑΚΡΟΧΡΟΝΙΟ ΠΕΙΡΑΜΑ ΣΥΓΚΡΙΣΗΣ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΩΝ ΕΔΑΦΟΥΣ 86
Θ. Γέμτος, Χ. Καβαλάρης, Χ. Καραμούτης, Σ. Φουντάς

ΥΔΑΤΙΚΟΙ ΠΟΡΟΙ

ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΒΙΟΣΤΕΡΕΩΝ ΣΕ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟ ΜΕ ΕΛΛΕΙΜΜΑΤΙΚΗ ΑΡΔΕΥΣΗ ΣΕ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΥ ΦΥΤΟΥ 92
Μ. Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη, Χ. Νάκας, Δ. Δημάκας

ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΕΔΑΦΙΚΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΛΑΜΠΟΚΙΟΥ ΑΡΔΕΥΟΜΕΝΟΥ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΜΕΡΙΚΗΣ ΥΓΡΑΝΣΗΣ ΡΙΖΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ 97
Β. Αντωνόπουλος, Π. Γεωργίου, Ε. Λεκάκης

ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΔΕΙΚΤΩΝ ΞΗΡΑΣΙΑΣ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΣΤΟΧΑΣΤΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ 103
Π. Γεωργίου, Δ. Παπαμιχαήλ, Δ. Παπάρας

ΛΟΓΟΙ ΕΣΦΑΛΜΕΝΗΣ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ ΣΤΟΝ ΕΛΛΑΔΙΚΟ ΧΩΡΟ 110
Σ. Αλεξανδρής, Ν. Προύτσος, Χ. Καραβίτης, Ι. Τσίρος, Δ. Σταματάκος

ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΕΔΑΦΙΚΟΥ ΝΕΡΟΥ ΚΑΙ ΑΓΡΟΧΗΜΙΚΩΝ ΣΕ ΚΑΛΛΙΕΡΓΗΜΕΝΟ ΕΔΑΦΟΣ ΜΕ ΕΝΑ ΜΟΝΤΕΛΟ ΔΙΠΛΗΣ ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ 117
Β. Αντωνόπουλος, Δ. Γιαννούλη, Π.Γεωργίου

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΚΑΙ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΛΕΚΑΝΩΝ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΑΙΑΝΗΣ ΚΟΖΑΝΗΣ 123
Π. Γεωργίου, Α. Αντωνόπουλος, Ζ. Αντωνόπουλος

ΣΧΕΣΗ ΑΡΔΕΥΣΗΣ - ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΠΟΙΟΤΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΤΟΜΑΤΑΣ ΣΤΗΝ ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΕΛΛΑΔΑ 130
Δ. Καλφούντζος, Π. Βύρλας, Χ. Παπαϊωάννου, Α. Σιούρας, Α. Φιλίντας, Π. Ντιούδης

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΜΗ ΝΤΑΡΣΙΑΝΗΣ ΡΟΗΣ ΑΠΟ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΑΝΤΛΗΣΗΣ ΜΕ ΜΕΤΑΒΑΛΛΟΜΕΝΗ ΠΑΡΟΧΗ ΦΡΕΑΤΙΟΥ ΜΕΡΙΚΗΣ ΔΙΑΤΡΗΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΙΕΡΙΑ 135
Δ. Καραμούζης, Δ. Καρπούζος, Π. Γεωργίου

ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΗΣ ΚΑΜΠΥΛΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΣΥΣΚΕΥΗΣ RICHARDS ΚΑΙ ΔΙΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ 140
Γ. Μπουραζάνης, Γ. Κάργας, Π. Κερκίδης

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΠΑΡΟΧΗΣ ΑΡΔΕΥΤΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΜΕ ΤΗ ΒΟΗΘΕΙΑ ΑΣΑΦΩΝ ΚΑΝΟΝΩΝ
Χ. Τζιμόπουλος **146**

Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΑΛΑΤΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ ΣΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΤΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΠΟΡΩΔΩΝ ΜΕΣΩΝ ΜΕ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΔΙΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΣΥΣΚΕΥΗΣ
Γ. Κάργας, Ν. Ντούλας, Π. Νεκτάριος, Α. Κλάδου **151**

ΟΙ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΕΣ ΜΟΡΦΕΣ ΤΩΝ ΠΡΟΦΙΛ ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΕΝΟΣ ΓΥΜΝΟΥ ΚΑΙ ΑΡΧΙΚΑ ΚΟΡΕΣΜΕΝΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ ΜΕ ΠΑΡΟΥΣΙΑ ΚΑΙ ΧΩΡΙΣ ΠΑΡΟΥΣΙΑ ΕΞΑΤΜΙΣΗΣ
Γ. Κάργας, Α. Λαμπροπούλου, Μ. Μεϊμάρης, Π. Κερκίδης **156**

Η ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΗ ΚΑΜΠΥΛΗ ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΣΑΝ ΜΕΤΡΟ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΤΗΣ ΣΤΑΘΕΡΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΣΥΣΣΩΜΑΤΩΜΑΤΩΝ
Γ. Κάργας, Α. Αλτιναλμάζης, Δ. Μητροσύλης, Π. Λόντρα **160**

ΟΡΙΟΘΕΤΗΣΗ ΥΔΑΤΟΡΕΜΑΤΟΣ ΜΙΚΡΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΧΩΡΙΣ ΥΔΡΟΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΜΕ ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ
Σ. Γιαννόπουλος, Ε. Πουρναρά, Χ. Τζιμόπουλος, Χ. Ευαγγελίδης **165**

ΔΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΚΑΙ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΗΣ ΕΔΑΦΙΚΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ
Ι. Γράβαλος, Θ. Γιαλαμάς, Σ. Λουτρίδης, Δ. Κατέρης, Ζ. Τσιρόπουλος, Ε. Μπόμπολας, Π. Ξυραδάκης, Α. Αυγουστή, Α. Γεωργιάδης **171**

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΑΡΔΕΥΣΗΣ ΣΕ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ
Μ. Σακελλαρίου – Μακραντωνάκη, Ε. Καρατάσιου, Χ. Τζιμόπουλος, Χ. Νάκας, Χ. Παπανικολάου, Β. Μπότα, Κ. Μπακιρτζής, Ν. Μπεγλόπουλος **176**

ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΑΡΔΕΥΤΙΚΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΤΗΣ ΠΕΔΙΑΔΑΣ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ ΜΕ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΘΕΩΡΙΑΣ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ VIKOR
Χ. Τζιμόπουλος, Δ. Ζορμπά, Χ. Ευαγγελίδης **182**

ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΔΕΙΚΤΗ ΥΔΑΤΙΚΗΣ ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΗΣ ΔΥΟ ΥΒΡΙΔΙΩΝ ΗΛΙΑΝΘΟΥ ΥΠΟ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΠΛΗΡΟΥΣ ΚΑΙ ΕΛΛΕΙΜΜΑΤΙΚΗΣ ΑΡΔΕΥΣΗΣ
Ι. Αργυροκαστρίτης, Γ. Παπαθεοχάρη,
Σ. Αλεξανδρής, Α. Πανταζή, Ι. Μανδαράκα **187**

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΙΜΩΝ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ ΣΤΟΝ ΚΟΡΕΣΜΟ ΑΔΙΑΤΑΡΑΚΤΩΝ ΚΑΙ ΔΙΑΤΑΡΑΓΜΕΝΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ ΣΕ ΔΥΟ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΑΡΔΕΥΣΗΣ (ΝΕΡΟ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΜΕΝΗ ΕΚΡΟΗ ΤΡΙΤΟΒΑΘΜΙΟΥ ΒΙΟΛΟΓΙΚΟΥ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΥ) **192**
Γ. Μπουραζάνης, Ε. Χαριτίδου, Ι. Αργυροκαστρίτης, Π. Κερκίδης

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΚΑΜΠΥΛΩΝ ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΑΔΙΑΤΑΡΑΚΤΩΝ ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ ΑΠΟ ΚΥΤΤΑΡΑ ΠΙΕΣΗΣ ΚΑΙ ΜΕ ΠΕΔΟΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙΣ
Γ. Μπουραζάνης, Μ. Τσανικλίδου, Ι. Αργυροκαστρίτης Π. Κερκίδης **198**

ΔΙΕΥΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ - ΠΑΡΟΧΗΣ ΣΕ ΑΡΔΕΥΤΙΚΑ ΚΑΝΑΛΙΑ ΜΕ ΣΥΣΚΕΥΗ ΥΠΕΡΗΧΩΝ
Α. Ηλίας, Η. Τελόγλου, Ε. Χατζηγιαννάκης, Ι. Πανώρας, Π. Γαλιατσάτου, Α. Πανώρας **203**

ΚΛΙΜΑΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ: ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΤΟΥ ΥΨΟΥΣ ΒΡΟΧΗΣ ΚΑΙ Η ΠΡΟΣΑΡΜΟΣΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΟΥΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ
Ηρ. Χαλκίδης, Ε. Μπρουζούκης, Μ. Σακελλαρίου – Μακραντωνάκη **209**

ΤΡΙΔΙΑΣΤΑΤΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΕΧΝΗΤΟΥ ΕΜΛΟΥΤΙΣΜΟΥ ΤΟΥ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΡΙΖΟΥ–ΠΕΤΡΑΙΑΣ–ΑΡΣΕΝΙΟΥ (Ν. ΠΕΛΛΑΣ)
Δ.Σεραφείμ και Θ.Ζήσης **214**

ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΗ ΔΙΗΘΗΣΗ ΜΕ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΙΚΡΟΥ ΣΤΑΘΕΡΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ ΣΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ
Α. Αγγελακη, Σ. Κωνσταντάκος, Φ. Καψοσιδέρης, Μ. Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη **219**

224

ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ ΕΔΑΦΙΚΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΓΕΝΕΤΙΚΩΝ ΑΛΓΟΡΙΘΜΩΝ ΚΑΙ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΤΟΥ ΥΔΑΤΙΚΟΥ ΙΣΟΖΥΓΙΟΥ
Χ. Παρασκευάς, Δ. Καρπούζος, Α. Ηλίας, Χ. Μπαμπατζιμόπουλος

Ο ΡΟΛΟΣ ΤΩΝ ΒΟΗΘΗΤΙΚΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΣΤΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ ΜΕ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ **230**
Σ. Καβαλιεράτου και Χ. Μπαμπατζιμόπουλος

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ 4 ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΣΤΑΓΔΗΝ ΑΡΔΕΥΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΟΤΗΤΑ ΖΑΧΑΡΟΤΕΥΤΛΩΝ, ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ-ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥΣ **235**
Π. Ντιούδης, Α. Φιλίντας, Μ. Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη, Δ. Καλφούντζος, Α. Παπαδόπουλος

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΑΡΔΕΥΣΗΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΛΙΠΑΝΣΗΣ ΣΤΗΝ ΑΠΟΔΟΣΗ ΤΗΣ ΚΑΛΛΙΈΡΓΕΙΑΣ ΣΤΕΒΙΑΣ ΣΤΗΝ ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΕΛΛΑΔΑ **241**
Δ. Καλφούντζος, Ι. Βασιλάκογλου, Ν. Γκουγκουλιάς, Μ. Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη, Θ. Λέλλης

ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΑΡΔΕΥΤΙΚΕΣ ΑΝΑΓΚΕΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
Δ. Παπαναστασίου, Θ. Μπαρτζάνας, Ι. Τσιρογιάννης, Π. Μπαλτζώη, Κ. Κίττας **246**

ΜΕΤΑΣΥΛΛΕΚΤΙΚΗ / ΜΕΤΑΣΥΓΚΟΜΙΣΤΙΚΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΜΕΝΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ ΣΤΟΥΣ ΠΟΙΟΤΙΚΟΥΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΕΣ ΤΟΜΑΤΑΣ "ΕΛΠΙΔΑ" **252**
Π. Μουζάκης, Μ. Σάββας, Γ. Ξανθόπουλος, Ε. Αραβαντινός-Καρλάτος, Γρ. Λαμπρινός

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΣΤΟΥΣ ΠΟΙΟΤΙΚΟΥΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΕΣ ΤΟΜΑΤΑΣ "ΕΛΠΙΔΑ"
Ε. Σάββας, Π. Μουζάκης, Γ. Ξανθόπουλος, Ε. Αραβαντινός-Καρλάτος, Γρ. Λαμπρινός **257**

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΣΤΟΥΣ ΠΟΙΟΤΙΚΟΥΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΕΣ ΤΟΜΑΤΑΣ "CHERRY" **263**
Δ. Λέντζου, Ι. Καρούσος, Γ. Ξανθόπουλος, Γρ. Λαμπρινός

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΒΙΟΔΙΑΣΠΩΜΕΝΗΣ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑΣ ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΜΕΝΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ ΣΕ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑ (EMAP) ΓΙΑ ΤΟΜΑΤΙΝΙΑ – ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ ΚΑΙ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ **268**
Δ. Μπριασούλης, Α. Μυστριώτης, Α. Γιαννούλης, Δ. Γιαννόπουλος

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΜΕΝΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ ΣΤΗΝ ΑΝΑΠΝΕΥΣΤΙΚΗ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΣΤΙΣ ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΜΑΖΑΣ ΤΟΜΑΤΑΣ "CHERRY" **273**
Ι. Καρούσος, Δ. Λέντζου, Γ. Ξανθόπουλος, Ε. Αραβαντινός-Καρλάτος, Γρ. Λαμπρινός

ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΔΥΟ ΜΕΘΟΔΩΝ ΕΚΧΥΛΙΣΗΣ ΤΗΣ ΧΛΩΡΟΦΥΛΛΗΣ. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗΝ ΠΙΠΕΡΙΑ **278**
Ε. Μανωλοπούλου, Α. Πετσαλάκη

ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΡΥΘΜΟΥ ΞΗΡΑΝΣΗΣ ΚΑΙ ΤΩΝ ΧΡΩΜΑΤΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΚΑΤΑ ΤΗ ΒΑΘΜΙΔΩΤΗ ΞΗΡΑΝΣΗ ΒΕΡΙΚΟΚΟΥ **283**
Α. Αθανασίου, Ά. Σέμπου, Γ. Ξανθόπουλος, Α. Μπουντουβής

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΜΕΝΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ ΣΤΑ ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΑΝΘΙΔΙΩΝ ΜΠΡΟΚΟΛΟΥ ΟΡΓΑΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΣΥΜΒΑΤΙΚΗΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΤΑ ΤΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΣΤΟΥΣ 0°C & 5°C **289**
Ε. Μανωλοπούλου, Κ. Ρεκούμη, Α. Αλεξόπουλος

ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΤΩΝ ΣΥΝΟΛΙΚΩΝ ΑΠΩΛΕΙΩΝ ΜΑΖΑΣ ΝΩΠΗΣ ΤΟΜΑΤΑΣ "CHERRY" ΚΑΤΑ ΤΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΤΟΥΣ ΜΕ ΨΥΞΗ
Δ. Λέντζου, Ι. Καρούσος, Ε. Μανωλοπούλου, Γ. Λαμπρινός **294**

ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΜΑΖΑΣ, ΤΟΥ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΔΙΑΧΥΣΗΣ ΚΑΙ ΤΩΝ ΜΕΤΑΒΟΛΩΝ ΤΗΣ ΜΙΚΡΟΔΟΜΗΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΤΕΧΝΗΤΗ ΞΗΡΑΝΣΗ ΒΕΡΙΚΟΚΟΥ
Α. Καφούρος, Γ. Ξανθόπουλος, Δ. Λέντζου, Ε. Αραβαντινός-Καρλάτος, Γ.Λαμπρινός **298**

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΙΣΕΝΤΡΟΠΙΚΟΥ ΒΑΘΜΟΥ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ ΣΥΜΠΙΕΣΤΗ ΚΑΙ ΤΗΣ ΣΧΕΣΗΣ ΣΥΜΠΙΕΣΗΣ ΣΤΗΝ ΑΠΟΔΟΣΗ ΕΝΟΣ ΨΥΚΤΙΚΟΥ ΣΥΓΚΡΟΤΗΜΑΤΟΣ
Ν. Τσουκαλάς και Γρ. Λαμπρινός **304**

ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

ΡΥΠΑΝΣΗ ΙΖΗΜΑΤΟΣ ΜΕ ΒΑΡΕΑ ΜΕΤΑΛΛΑ ΣΤΗΝ ΑΠΟΣΤΡΑΓΓΙΣΤΙΚΗ-ΑΡΔΕΥΤΙΚΗ ΤΑΦΡΟ "ΑΣΜΑΚΙΟΥ", ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ, ΕΛΛΑΔΑ
Α. Αυγουστή, Σ. Παπαδόπουλος, Ι. Γράβαλος, Δ. Κατέρης, Α. Γεωργιάδης, Ζ. Τσιρόπουλος, Π. Ξυραδακης **310**

ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΜΕΙΩΣΗ ΑΕΡΙΩΝ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ ΑΠΟ ΣΥΜΒΑΤΙΚΟΥΣ ΣΕ ΒΙΟΛΟΓΙΚΟΥΣ ΕΛΑΙΩΝΕΣ ΚΑΙ ΑΜΠΕΛΩΝΕΣ
Α. Μπαλαφούτης, Δ. Μπριασούλης, Π. Παναγάκης, Γ. Παπαδάκης **316**

ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ ΑΠΟ ΤΥΡΟΓΑΛΑ ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΕΝΟ ΜΕ ΕΚΧΥΛΙΣΜΑ ΗΜΙ-ΚΟΜΠΟΣΤΟΠΟΙΗΜΕΝΩΝ ΣΤΕΡΕΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΠΤΗΝΟΤΡΟΦΕΙΟΥ ΑΥΓΟΠΑΡΑΓΩΓΗΣ
Α. Σπυρούδη, Δ. Γεωργακάκης, Μ. Θοδωρή **321**

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΕΚΠΟΜΠΩΝ CO_2 ΠΡΟΕΡΧΟΜΕΝΩΝ ΑΠΟ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΓΕΩΡΓΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΩΝ
Μ. Λουφοπούλου, Ε.Ροδιάς, Δ. Μπόχτης, Δ. Μόσχου **326**

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΕΥΡΩΠΑΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΩΝ ΑΓΡΟΧΗΜΙΚΩΝ - ΠΙΛΟΤΙΚΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ
Δ. Μπριασούλης, Μ. Χισκάκης, Χ. Μπριασούλης **331**

ΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟ ΑΠΟΤΥΠΩΜΑ ΜΙΑΣ ΑΝΤΛΙΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ
Δ. Αναστασίου και Γρ. Λαμπρινός **337**

ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΟΥ ΔΕΙΚΤΗ ΣΥΝΟΛΙΚΗΣ ΙΣΟΔΥΝΑΜΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗ ΚΑΙ ΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟ ΑΠΟΤΥΠΩΜΑ ΜΙΑΣ ΑΓΡΟΤΙΚΗΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΑΣ
Δ. Αναστασίου και Γρ. Λαμπρινός **345**

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΜΕ ΑΔΡΑΝΕΙΣ ΚΟΝΕΙΣ ΣΤΗ ΔΙΑΘΕΣΙΜΗ ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΚΑΙ ΤΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΦΥΛΛΩΝ ΡΟΔΑΚΙΝΙΑΣ
Π. Μαλέτσικα, Ν. Κατσούλας, Γ. Νάνος **353**

ΑΠΟΔΟΜΗΣΗ ΠΛΑΣΤΙΚΩΝ ΦΥΛΛΩΝ ΕΔΑΦΟΚΑΛΥΨΗΣ ΠΟΛΥΑΙΘΥΛΕΝΙΟΥ ΜΕ ΠΡΟ-ΟΧΕΙΔΩΤΙΚΑ - ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΔΙΑΣΠΑΣΗΣ ΣΤΟ ΧΩΜΑ
Δ. Μπριασούλης, Μ. Χισκάκης, Ι. Κυρίκου, Ε. Μπάμπου **359**

ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΒΙΟΚΛΙΜΑΤΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΧΟΛΙΚΩΝ ΑΥΛΩΝ
Δ. Αντωνιάδης, Ι. Τσιρογιάννης, Ν. Κατσούλας, Ε. Κίττα, Β. Χρηστίδου, Κ. Κίττας **365**

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΩΝ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΩΝ ΤΗΣ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΤΗΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ ΣΤΗ ΓΕΩΡΓΙΑ
Λ. Τούλιος, G. Stancalie, P. Struzik και F. M. Danson **371**

ΑΓΡΟΤΙΚΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑΣ ΑΓΡΟΤΙΚΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΣΤΗΝ ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΗΣ ΘΕΣΗΣ ΜΙΚΡΗΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ ΒΑΣΕΙ ΔΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟΥ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ 377
Ι. Βογιατζής, Β. Φράγκος, Γ. Ντίνας, Γ. Μαρτζόπουλος

ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΜΑΚΡΑΣ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΑΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΣΤΟ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ ΚΤΗΝΟΤΡΟΦΙΚΩΝ ΚΤΙΡΙΩΝ – ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΠΙΘΑΝΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΗΣ ΕΝΤΑΤΙΚΑ ΕΚΤΡΕΦΟΜΕΝΩΝ ΠΡΟΒΑΤΩΝ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΗΜΕΡΩΝ ΜΕ ΚΑΥΣΩΝΑ 382
Δ. Παπαναστασίου, G. Zhang, Θ. Μπαρτζάνας, Π. Παναγάκης, Κ. Κίττας

ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΤΟΥ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΣΤΗΝ ΕΞΩΤΕΡΙΚΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΤΩΝ ΑΓΡΟΤΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ 386
Χ. Α. Κατσαΐτη, Β. Φράγκος, Θ. Κωτσόπουλος, Χ. Νικήτα-Μαρτζοπούλου

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΦΟΡΤΙΣΕΩΝ ΤΩΝ ΣΤΥΛΩΝ ΤΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΑΝΤΙΧΑΛΑΖΙΚΗΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΤΩΝ ΔΕΝΔΡΩΔΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ 391
Μενέλαος Θεοχάρης

ΑΣΑΦΗ ΓΝΩΣΤΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ ΓΙΑ ΤΗ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΤΟΝ ΕΛΕΓΧΟ ΘΕΡΟΚΗΠΙΩΝ 397
Β. Μπουγά, Ι. Τρυπαναγνωστόπουλος, Π. Γρουμπός

ΘΕΡΜΑΝΣΗ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΩΝ ΜΕ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΥΠΕΡΥΘΡΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ (IR) 402
Α. Καυγά και Θ. Πανίδης

ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΟΥ ΥΨΟΥΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΘΕΣΗΣ ΤΩΝ ΑΝΟΙΓΜΑΤΩΝ ΑΕΡΙΣΜΟΥ ΣΤΟ ΜΙΚΡΟΚΛΙΜΑ ΤΩΝ ΑΓΡΟΤΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΜΕ ΔΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ 407
Α. Δενιζοπούλου, Μ. Παροτσίδου, Β. Φράγκος, Χ. Νικήτα-Μαρτζοπούλου

ΑΠΟΔΟΤΙΚΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΤΗΝ ΟΡΟΦΗ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΩΝ 413
Ι. Τρυπαναγνωστόπουλος, Π. Ζαφειράκης, Β. Μπρούνου

ΑΡΔΕΥΣΗ ΤΗΣ ΤΟΜΑΤΑΣ ΜΕ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΜΕΝΑ ΑΣΤΙΚΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ: ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ IN SITU ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΩΝ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΑΡΔΕΥΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ, ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΤΩΝ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΩΝ ΚΑΡΠΩΝ 419
Γ. Ψαρράς, Κ. Χαρτζουλάκης, Ι. Κασαπάκης, W. Kloppmann

ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΣΥΣΣΩΡΕΥΣΗΣ Ca ΣΕ ΚΛΕΙΣΤΟ ΥΔΡΟΠΟΝΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΕ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΠΙΠΕΡΙΑΣ 425
Α. Ροπόκης, Ν. Κατσούλας, Κ. Κίττας, Α. Κότσιρας, Κ. Λαγού, Δ. Σάββας

ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΚΑΙ ΔΟΚΙΜΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΥΤΟΜΑΤΗΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΤΩΝ ΑΠΟΡΡΟΩΝ ΣΕ ΗΜΙΚΛΕΙΣΤΑ ΥΔΡΟΠΟΝΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ 430
Ν. Κατσούλας, Δ. Σάββας, Θ. Μπαρτζάνας, Κ. Κίττας

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΔΙΧΤΥΟΚΗΠΙΩΝ ΣΤΟ ΜΙΚΡΟΚΛΙΜΑ ΚΑΙ ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ ΓΛΥΚΙΑΣ ΠΙΠΕΡΙΑΣ 435
Ν. Ρηγάκης, Ν. Κατσούλας, Π. Μπελιτσιώτης, Θ. Μπαρτζάνας, Κ. Κίττας

ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ ΑΠΟ ΚΤΗΝΟΤΡΟΦΙΚΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ 440
Σ. Καλαμάρας, Χ. Μανδρούκας, Π. Κούγιας, Θ. Κωτσόπουλος, Γ. Μαρτζόπουλος

ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΤΩΝ ΣΤΥΛΩΝ ΤΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΑΝΤΙΧΑΛΑΖΙΚΗΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ 445
Μενέλαος Θεοχάρης

ΕΠΟΧΙΑΚΗ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ ΤΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΗΣ ΕΝΤΑΤΙΚΑ ΕΚΤΡΕΦΟΜΕΝΩΝ ΠΡΟΒΑΤΩΝ ΣΤΟ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ ΦΥΣΙΚΩΣ ΑΕΡΙΖΟΜΕΝΟΥ ΣΤΑΒΛΟΥ 451
Δ. Παπαναστασίου, Θ. Μπαρτζάνας, Π. Παναγάκης, Κ. Κίττας

ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ
Χ. Παπαϊωάννου, Δ. Καλφούντζος, Ι. Γράβαλος, Ι. Βαγγέλας, Α. Παπαχατζής, Μ. Βλαχογιάννης, Σ. Κωτσόπουλος, Α. Αντωνίου **456**

ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟΤΕΧΝΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΝΟΣ ΠΡΟΤΥΠΟΥ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΑΥΤΟΝΟΜΟΥ ΑΓΡΟΚΤΗΜΑΤΟΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
Α-Μ. Κοσμόπουλος, Σ. Νάστης, Θ.Α. Κωτσόπουλος, Γ. Μαρτζόπουλος **461**

ΜΕΛΕΤΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΔΡΟΣΙΣΜΟΥ ΜΕ ΤΕΧΝΙΤΗ ΟΜΙΧΛΗ ΣΕ ΔΙΧΤΥΟΚΗΠΙΟ ΠΑΧΥΝΣΗΣ ΣΑΛΙΓΚΑΡΙΩΝ
Ν. Κατσούλας, Κ. Αποστόλου, Μ. Χατζηϊωάννου, Σ. Αϋφαντή, Χ. Νεοφύτου, Κ Κίττας **466**

ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΚΑΙ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΙΣΡΟΩΝ – ΕΚΡΟΩΝ ΣΕ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑ
Γ. Δασκαλάκη, Ν. Κατσούλας, Γ. Βλόντζος, Ι. Λιβιεράτος, Μ. Tchamitchian, Κ. Κίττας **471**

ΝΕΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΣΤΗ ΓΕΩΡΓΙΚΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗ

ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΖΩΝΩΝ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΣΕ ΟΠΩΡΩΝΑ ΜΗΛΙΑΣ
Α. Αγγελοπούλου, Θ. Γέμτος, Γ. Νάνος, Α. Castrignano **476**

ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΤΟΥ ΧΡΩΜΑΤΟΣ ΦΥΛΛΩΝ ΜΑΡΟΥΛΙΟΥ ΜΕ ΑΝΑΛΥΣΗ ΨΗΦΙΑΚΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ
Ε. Γ. Χατζής, Ε. Μανωλοπούλου, Γ. Ξανθόπουλος, Γρ. Λαμπρινός **481**

ΑΣΥΡΜΑΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ: Ο ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΜΙΑΣ ΠΛΑΤΦΟΡΜΑΣ ΕΡΕΥΝΑΣ, ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΚΑΙ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΕΛΕΓΧΟ ΤΟΥ ΜΙΚΡΟΚΛΙΜΑΤΟΣ ΣΤΗ ΓΕΩΡΓΙΑ
Δ. Πυρομάλης, Κ. Αρβανίτης, Δ. Τσελές **486**

ΑΝΑΘΕΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΕΡΓΑΣΙΩΝ ΓΙΑ ΟΜΑΔΕΣ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΩΝ ΣΤΗΝ ΕΦΟΔΙΑΣΤΙΚΗ ΑΛΥΣΙΔΑ ΒΙΟΜΑΖΑΣ
Ά. Ορφανού, Δ. Παύλου, G. Edwards, Δ. Μπόχτης **491**

ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΕ ΑΥΤΟΝΟΜΑ ΔΙΚΤΥΑ ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΗΣ
Χ. Σ. Καραβάς, Σ. Αλεξάκης, Γ. Κυριακαράκος, Κ. Αρβανίτης, Γ. Παπαδάκης **496**

ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΚΑΤΑΤΜΗΣΗΣ ΕΙΚΟΝΩΝ ΔΕΝΤΡΩΝ ΣΥΚΙΑΣ ΣΤΟ ΣΤΑΔΙΟ ΤΗΣ ΚΑΡΠΟΦΟΡΙΑΣ
Ι. Γράβαλος **501**

ΝΕΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΓΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ
Ι. Τρυπαναγνωστόπουλος και Μ. Σουλιώτης **506**

ΧΡΗΣΗ ΣΑΡΩΤΗ ΛΕΙΖΕΡ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΤΡΗΣΗ ΒΙΟΜΑΖΑΣ ΚΑΙ ΥΨΟΥΣ ΦΥΤΩΝ ΣΕ ΤΡΕΙΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ
Α. Χατζηνίκος, Θ. Γέμτος, Σ. Φουντάς **510**

ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗΣ ΤΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ ΓΕΩΡΓΙΚΟΥ ΕΛΚΥΣΤΗΡΑ
Ζ. Τσιρόπουλος, Σ. Φουντάς, Ι. Γράβαλος, Θ. Γέμτος, Α. Αυγουστής, Δ. Κατέρης, Π. Ξυραδάκης, Β. Λιάκος **515**

ΜΟΝΤΕΛΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΤΟΥ ΧΡΟΝΟΥ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΩΝ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΩΝ ΠΟΥ ΕΜΠΛΕΚΟΝΤΑΙ ΣΤΗ ΣΥΓΚΟΜΙΔΗ ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΩΝ ΒΑΜΒΑΚΙΟΥ
Π. Ντογκούλης, Δ. Μπόχτης, Χ. Νάκας, Σ. Φουντάς, Θ. Γέμτος **520**

ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ ΔΟΣΕΩΝ ΛΙΠΑΣΜΑΤΟΣ ΣΕ ΟΠΩΡΩΝΑ ΜΗΛΩΝ
Β. Λιάκος, Α. Ταγαράκης, Ά. Βατσανίδου, Ζ. Τσιρόπουλος, Σ. Φουντάς, Γ. Νάνος, Θ. Γέμτος **526**

ΜΗΧΑΝΙΣΤΙΚΗ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΒΑΣΙΣΜΕΝΗ ΣΕ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΗΣ ΖΩΝΙΚΗΣ ΚΙΝΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ & ΕΠΙΚΑΛΥΨΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΝΕΑΡΩΝ ΚΟΤΟΠΟΥΛΩΝ ΣΕ ΜΙΚΡΟ ΑΕΡΙΖΟΜΕΝΟ ΘΑΛ. **531**
Β. Ανέστης, Α. Γιούσσεφ, Β. Εξαδάκτυλος, Ντ. Μπέρκμανς

ΑΥΤΟΜΑΤΗ ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗ ΤΥΠΟΥ ΜΙΓΜΑΤΟΣ ΒΕΝΖΙΝΗΣ – ΒΙΟΑΛΚΟΟΛΩΝ ΣΕ ΤΕΤΡΑΧΡΟΝΟ ΚΙΝΗΤΗΡΑ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΚΑΥΣΗΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΑΞΙΝΟΜΗΤΩΝ ΠΡΟΤΥΠΟΥ **536**
Ξ. Ε. Πανταζή, Δ. Μόσχου, Δ. Κατέρης, Ι. Γράβαλος, Π. Ξυραδάκης

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΜΟΝΑΔΑΣ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗΣ ΩΣΜΩΣΗΣ ΥΠΟ ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ **542**
Ε. Δημητρίου, E. Mohamed, Γ. Κυριακαράκος, Γ. Παπαδάκης

ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΤΟΥ ΧΕΙΜΕΡΙΝΟΥ ΞΥΛΟΥ ΣΕ ΑΜΠΕΛΩΝΑ ΜΕ ΧΡΗΣΗ LASER SCANNER **547**
Α. Ταγαράκης, Β. Λιάκος, Αθ. Χατζηνίκος, Σπ. Φουντάς, Στ. Κουνδουράς, Θ.Α. Γέμτος

ΑΥΤΟΜΑΤΗ ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΩΝ ΣΤΑΔΙΩΝ ΣΥΓΚΟΜΙΔΗΣ ΣΕ ΦΥΤΑ ΜΑΡΟΥΛΙΟΥ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΦΘΟΡΙΣΜΟΥ ΤΗΣ ΧΛΩΡΟΦΥΛΛΗΣ **552**
Ξ.Ε. Πανταζή, Δ. Κασαμπαλής, Π. Τσουβαλτζής, Δ. Μόσχου, Δ. Κατέρης

TRAFFIC MONITORING of an AGRICULTURAL TRAFFIC CROSS-ROAD by IMAGE and VIDEO PROCESSING TECHNIQUES **557**
Ventzas, D., Panagiotidi, E, Balabekou I, Vagelas J, Zavrakas G, Adam, G

ΓΕΩΡΓΙΑ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ ΣΤΑ ΑΧΛΑΔΙΑ: ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΧΑΡΤΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΜΕ NDVI ΚΑΙ ΑΝΘΟΦΟΡΙΑ **562**
Α. Ζάχου, Β. Λιάκος, Α. Βατσανίδου, Σ. Φουντάς και Θ. Γέμτος

8^{Ο} ΕΘΝΙΚΟ ΣΥΝΕΔΡΙΟ ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ

ΓΕΩΡΓΙΚΑ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΑ - ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΙ

ΣΥΣΤΗΜΑ ΔΙΑΓΝΩΣΗΣ ΒΛΑΒΩΝ ΣΕ ΜΗΧΑΝΙΚΟ ΚΙΒΩΤΙΟ ΣΧΕΣΕΩΝ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΠΟΛΥΣΤΡΩΜΑΤΙΚΩΝ ΝΕΥΡΩΝΙΚΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ

Δημήτριος Κατέρης[1], Δημήτριος Μόσχου[1], Ιωάννης Γράβαλος[2], Θεόδωρος Γιαλαμάς[2], Παναγιώτης Ξυραδάκης[2]

[1]Τομέας Εγγείων Βελτιώσεων, Εδαφολογίας και Γεωργικής Μηχανικής, Γεωπονική Σχολή, Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας, Α.Π.Θ., Τ.Κ. 54124, Θεσσαλονίκη, e-mail: dkateris@agro.auth.gr

[2]Τμήμα Μηχανικής Βιοσυστημάτων, Σχολή Τεχνολογίας Γεωπονίας, Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Λάρισας (Τ.Ε.Ι. Λ), Τ.Κ. 41110, Λάρισα,

Οι πιο πιθανές αιτίες που προκαλούν διακοπή στη λειτουργία των περιστρεφόμενων μηχανημάτων είναι οι βλάβες που παρουσιάζονται στα έδρανα κύλισης (ρουλεμάν) των υποσυστημάτων τους. Κατά συνέπεια, η παρακολούθηση της κατάστασης των υποσυστημάτων αυτών θα μπορούσε να αυξήσει κατά πολύ την αξιοπιστία αυτών των μηχανημάτων. Τα έδρανα κύλισης αποτελούν ουσιώδες τμήμα των κιβωτίων σχέσεων των γεωργικών μηχανημάτων και τα σφάλματά τους είναι μία από τις ποιο συχνές αιτίες βλαβών τους. Επομένως, προκειμένου να αυξηθεί η αξιοπιστία τους, η παρακολούθηση της κατάστασης των εδράνων κύλισης έχει γίνει όλο και πιο σημαντική τα τελευταία χρόνια. Σκοπός αυτής της εργασίας είναι η ανάπτυξη ενός εύχρηστου συστήματος ανίχνευσης βλαβών στα έδρανα κύλισης των κιβωτίων σχέσεων, βασιζόμενο στη χρήση δύο Bayesian πολυστρωματικών νευρωνικών δικτύων με αυτόματο προσδιορισμό συνάφειας (MLP-ARD). Το σύστημα είναι σε θέση να παρακολουθεί την κατάσταση λειτουργίας του κιβωτίου σχέσεων, να διαγνώσκει εάν υπάρχει πρόβλημα και να ανιχνεύει το έδρανο κύλισης στο οποίο εμφανίζεται το πρόβλημα αυτό.

Λέξεις κλειδιά: κιβώτιο σχέσεων, ανίχνευση βλάβης, νευρωνικό δίκτυο, έδρανο κύλισης, δόνηση.

FAULT DIAGNOSIS SYSTEM IN MECHANICAL GEARBOX USING MULTILAYER PERCEPTRON NEURAL NETWORKS

Dimitrios Kateris[1], Dimitrios Moshou[1], Ioannis Gravalos[2], Thodoros Gialamas[2], Panagiotis Xyradakis[2]

[1]Department of Hydraulics Soil Science and Agricultural Engineering, School of Agriculture, Agriculture Engineering Laboratory, Aristotle University, 54124, Thessaloniki, e-mail: dkateris@agro.auth.gr

[2]Technological Educational Institute of Larissa, School of Agricultural Technology, Department of Biosystems Engineering, 41110, Larissa,

Rotating machinery breakdowns are most commonly caused by failures in bearing subsystems. Consequently, condition monitoring of such subsystems could increase reliability of this machines. Bearings form an essential part of the gearboxes of agricultural machinery and their failure is one of the most common causes of machine breakdowns. Accordingly, in order to increase reliability condition monitoring of bearings has become more and more important in recent years. The aim of this paper is the development of a practical fault detection system for gearboxes' bearings. This system is based in two Bayesian multilayer perceptron neural networks with Automatic Relevance determination (MLP-ARD). The system is able to monitor the operating status of gearbox, to diagnoses the problem existence and to detect the specific bearing in which this problem occurs.

Key words: gearbox, fault detection, neural network, bearing, vibration.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Όλα τα μηχανήματα με κινούμενα μέρη παράγουν δονήσεις κατά τη διάρκεια λειτουργίας τους. Κάθε μηχάνημα έχει μια συγκεκριμένη υπογραφή δόνησης, η οποία έχει σχέση, τόσο με την κατασκευή του όσο και με την τρέχουσα κατάσταση του. Εάν η κατάσταση του μηχανήματος αλλάξει, η υπογραφή δόνησης θα αλλάξει επίσης. Η διαφοροποίηση αυτή στην υπογραφή δόνησης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανίχνευση σφαλμάτων σε αρχικό στάδιο πριν αυτά καταστούν κρίσιμα και καταστροφικά για το μηχάνημα. Όλα αυτά αποτελούν βασικά στοιχεία πολλών μεθόδων παρακολούθησης κατάστασης σε μηχανήματα ή επιμέρους μηχανισμούς αυτών. Η παρακολούθηση της κατάστασης μπορεί να εξοικονομήσει χρήματα αυξάνοντας την αποδοτικότητα της συντήρησης και μειώνοντας τον κίνδυνο σοβαρών ατυχημάτων με την πρόληψη των βλαβών.

Ένα έμπειρος χειριστής μπορεί στοιχειωδώς να παρακολουθεί την κατάσταση ενός μηχανήματος είτε διαισθανόμενος τις δονήσεις είτε ακούγοντας τις διαφοροποιήσεις του ήχου που παράγει. Ωστόσο, η μέθοδος αυτή κάθε άλλο παρά αξιόπιστη είναι μιας και βλάβες σε αρχικό στάδιο είναι αδύνατον να γίνουν αντιληπτές με αυτό τον τρόπο. Οι βλάβες αυτές μπορούν να εξελιχθούν σε καταστροφικές για το μηχάνημα πολύ γρήγορα, πριν καν ο χειριστής αντιληφθεί διαφοροποίηση στις δονήσεις ή στο θόρυβο. Σε αυτές τις περιπτώσεις η ανάπτυξη μεθόδων διάγνωσης οι οποίες θα στηρίζονται στη διαφοροποίηση της υπογραφής δόνησης κρίθηκαν κάτι παραπάνω από απαραίτητες προκειμένου να προστατευθούν μηχανήματα τεράστιας αξίας χωρίς να ληφθεί υπόψη η ζημία που θα προκληθεί από μια πιθανή διακοπή της παραγωγής (Rafiee et al., 2007).

Τα σήματα δονήσεων χρησιμοποιούνται ευρέως στην παρακολούθηση κατάστασης και στη

διάγνωση βλαβών σε βασικά στοιχεία ενός μηχανήματος ή μηχανισμού (Bouillaut et al., 2001; Wilson et al.,2001; Monsen et al., 1993). Μπορούν να αξιοποιηθούν ως μέσο ανίχνευσης με μεγάλη επιτυχία, λόγω της ευθύτητα και ευκολίας των μετρήσεων και των πλούσιων πληροφοριών που εμπεριέχουν. Ωστόσο για την ανίχνευση της βλάβης το εύρος των συχνοτήτων του σήματος δόνησης είναι συχνά μεγάλο και σύμφωνα με το θεώρημα δειγματοληψίας του Shannon, απαιτείται μια υψηλής συχνότητας δειγματοληψία και κατά συνέπεια μεγάλου μεγέθους δείγματα προκειμένου να ανιχνευτούν σφάλματα σε έδρανα κύλισης. Συνεπώς, λόγω της ύπαρξης των επιπλέον στοιχείων και των μεγάλων διαστάσεων τους, υπάρχει η απαίτηση για προ-επεξεργασία προκειμένου να εξαχθούν οι κατάλληλες χαρακτηριστικές, οι οποίες είναι απαραίτητες για την τροφοδότηση της κατάλληλης μεθόδου.

Τις τελευταίες δεκαετίες ένας μεγάλος αριθμός μεθόδων για την αυτοματοποιημένη παρακολούθηση της κατάστασης έχει αναπτυχθεί. Αυτές οι μέθοδοι περιλαμβάνουν συνήθως τρία βασικά βήματα: α) μέτρηση ενός φυσικού μεγέθους (π.χ. επιτάχυνση – ταχύτητα κλπ.), β) εξαγωγή των κατάλληλων χαρακτηριστικών και γ) σύγκριση των χαρακτηριστικών αυτών με τις τιμές αναφοράς τους (υγιής κατάσταση). Μεταξύ των διαφόρων μεθόδων για την παρακολούθηση της κατάστασης των μηχανημάτων καθώς και των επιμέρους μηχανισμών τους είναι και τα Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα (Artificial Neural Networks). Η μέθοδος αυτή προσφέρει το πλεονέκτημα της αυτόματης ανίχνευσης και ταυτοποίησης των συνθηκών αστοχίας σε μηχάνημα ή μηχανισμό, ενώ δεν απαιτείται σε βάθος γνώση της συμπεριφοράς του συστήματος (Jack and Nandi, 2002; Samanta, 2004).

Σκοπός αυτής της εργασίας είναι η δημιουργία ενός εύχρηστου συστήματος ανίχνευσης βλαβών στα έδρανα κύλισης των κιβωτίων σχέσεων, βασιζόμενο στη χρήση δύο Bayesian πολυστρωματικών νευρωνικών δικτύων με αυτόματο προσδιορισμό συνάφειας (MLP-ARD). Το σύστημα είναι σε θέση να παρακολουθεί την κατάσταση λειτουργίας του κιβωτίου σχέσεων, να διαγνώσκει εάν υπάρχει πρόβλημα και να ανιχνεύει το έδρανο κύλισης στο οποίο εμφανίζεται το πρόβλημα.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

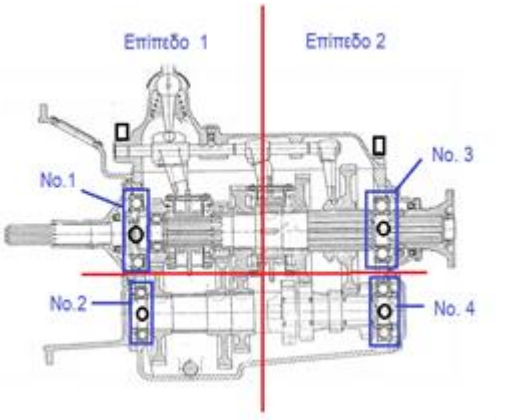
2.1. Πειραματική διάταξη

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε μια πειραματική διάταξη που σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε εξ ολοκλήρου στις εγκαταστάσεις του Τμήματος Μηχανικής Βιοσυστημάτων του Τ.Ε.Ι. Λάρισας (Εικόνα 1). Η πειραματική διάταξη αποτελείται από ένα μηχανικό κιβώτιο 6 σχέσεων (5 εμπρόσθιων και 1 όπισθεν), έναν τριφασικό ηλεκτροκινητήρα, ένα υδραυλικό δυναμόμετρο για την φόρτιση του κιβωτίου σχέσεων και ένα πλήρες καταγραφικό σύστημα δονήσεων της εταιρίας Brüel & Kjær.

Εικόνα 1. Πειραματική διάταξη. (1-μηχανικό κιβώτιο, 2-τριφασικός ηλεκτροκινητήρας, 3-υδραυλικό δυναμόμετρο)

Προκειμένου να συλλεχτούν τα δεδομένα δόνησης, τα οποία χρησιμοποιήθηκαν σαν είσοδο στο σύστημα διάγνωσης, δύο ειδών επιταχυνσιόμετρα (2 τριαξονικά και 4 μονοαξονικά) τοποθετήθηκαν σε επιλεγμένες θέσεις επάνω στο κιβώτιο. Συγκεκριμένα, τα δύο τριαξονικά επιταχυνσιόμετρα τοποθετήθηκαν στις κατακόρυφες αξονικές των δύο εμπρόσθιων και το δύο οπίσθιων εδράνων κύλισης αντίστοιχα. Και τα 4 μονοαξονικά επιταχυνσιόμετρα τοποθετήθηκαν στην οριζόντια αξονική κάθε ενός εκ των τεσσάρων εδράνων κύλισης του κιβωτίου. Αποφασίστηκε να εφαρμοσθούν στην έξοδο του κιβωτίου φορτία της τάξεως των 0Nm, 5Nm και 10Nm. Οι στροφές εισόδου στο κιβώτιο ορίστηκαν στις 2700 rpm και ελλείφθει η υπογραφή δόνησης για υγιή κατάσταση του κιβωτίου σε όλες τις εμπρόσθιες σχέσεις. Σαν συχνότητα δειγματοληψίας επιλέχθεισαν τα 65.536Hz με διάρκεια καταγραφής τα 10 δευτερόλεπτα.

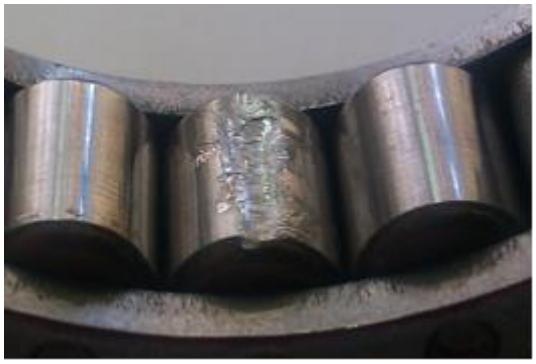
Στη συνέχεια προσομοιώθηκαν 2 ειδών βλάβες, μία στο έδρανο κύλισης με αριθμό 1 (No.1) και μια στο έδρανο κύλισης με αριθμό 2 (No.2) (Εικόνα 2).



Εικόνα 2. Τομή του μηχανικού κιβωτίου που χρησιμοποιήθηκε. (□ - σημεία τοποθέτησης τριαξονικών επιταχυνσιομέτρων, Ο - σημείο τοποθέτησης των μονοαξονικών επιταχυνσιομέτρων).

Οι βλάβες επιλέχθεισαν τόσο ως προς το είδος τους όσο και ως προς το σημείο εμφάνισής τους βάσει τη διεθνή βιβλιογραφία και τείνουν να προσημειώσουν σε όσο το δυνατόν μεγαλύτερο βαθμό αντίστοιχες πραγματικές βλάβες (Εικόνα 3 και 4). Πραγματοποιήθηκε εκ νέου λήψη της υπογραφής δόνησης και στις δύο περιπτώσεις (δύο βλάβες) σε δύο σχέσεις του κιβωτίου (1η και 5η) και με όλα τα φορτία στην έξοδο του κιβωτίου (0,5,10Nm).

Εικόνα 3. Κάθετη αυλάκωση στον εσωτερικό δακτύλιο του εδράνου κύλισης (3mm πλάτος και 1mm βάθος).



Εικόνα 4. Εκτεταμένη φθορά σε ένα εκ των κυλίστρων του εδράνου κύλισης.

2.2. Σύστημα διάγνωσης της βλάβης

2.2.1. Εξαγωγή χαρακτηριστικών στο πεδίο του χρόνου και της συχνότητας.

Τα σήματα δόνησης που καταγράφηκαν χρησιμοποιήθηκαν για την εξαγωγή των χαρακτηριστικών. Πρόκειται περιγραφικά ή υψηλής τάξης στατιστικά στοιχεία τα οποία υπολογίστηκαν από το σήμα δόνησης τόσο στο πεδίο του χρόνου όσο και στο πεδίο της συχνότητας.

Επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθούν 26 χαρακτηριστικές, οι 14 εκ των οποίων στο πεδίο του χρόνου (Lei et al., 2008; Moshou et al., 2010) και οι υπόλοιπες 12 στο πεδίο της συχνότητας (Lei et al., 2008). Αρχικά χρησιμοποιώντας μόνο τα σήματα δόνησης που καταγράφησαν από τα δύο τριαξονικά επιταχυνσιόμετρα εξήχθησαν οι 26 χαρακτηριστικές και στη συνέχεια επαναλήφθηκε η διαδικασία με τα σήματα μόνο από τα τέσσερα μονοαξονικά επιταχυνσιόμετρα. Όλες οι χρησιμοποιούμενες χαρακτηριστικές παρέχουν στατιστικές πληροφορίες σχετικά με τη φύση των δεδομένων, και διαπιστώθηκε ότι ήταν αρκετά καλές για την ανίχνευση σφαλμάτων. Οι χαρακτηριστικές εξήχθησαν για όλες τις περιπτώσεις και αποτέλεσαν είσοδο για το σύστημα διάγνωσης προκειμένου αυτό να εκπαιδευτεί.

Το σύστημα εκπαιδεύτηκε σε όλες τις καταστάσεις (υγιής κατάσταση και βλάβες στα έδρανα κύλισης) και για φορτίο στην έξοδο 10Nm.

2.2.2. Πολυστρωματικό νευρωνικό δίκτυο (MLP-ARD)

Το σύστημα διάγνωσης βασίστηκε σε δύο Bayesian πολυστρωματικά νευρωνικά δίκτυα με αυτόματο προσδιορισμό συνάφειας (MLP-ARD) με ένα κρυφό επίπεδο τον 10 νευρώνων το κάθε ένα. Ο αριθμός των νευρώνων στο επίπεδο εισόδου ήταν ίσος με τον αριθμό των χαρακτηριστικών που επιλέχθηκαν.

Το πρώτο σέτ των χαρακτηριστικών (αυτές που προήλθαν μόνο από τα τριαξονικά επιταχυνσιόμετρα) τροφοδότησαν το πρώτο νευρωνικό δίκτυο προκειμένου αυτό να εκπαιδευτεί ούτως ώστε να μπορεί να διαγνώσκει την ύπαρξη ή όχι βλάβης καθώς επίσης και σε ποιο επίπεδο (Επίπεδο 1 ή 2) αυτή εμφανίζεται. Το δεύτερο σετ των χαρακτηριστικών (αυτές που προήλθαν από τα μονοαξονικά επιταχυνσιόμετρα) τροφοδότησαν το δεύτερο νευρωνικό δίκτυο προκειμένου αυτό να εκπαιδευτεί ούτως ώστε να μπορεί να διαγνώσκει εάν η βλάβη που εμφανίζεται είναι σε τριβέα κύλισης που βρίσκεται στο επάνω ή στο κάτω επίπεδο (Εικόνα 4). Ο συνδυασμός των αποτελεσμάτων από την εκτέλεση των δύο νευρωνικών δικτύων δίνει και την ακριβή θέση στην οποία βρίσκεται το ελαττωματικό έδρανο κύλισης. Ο κώδικας που χρησιμοποιήθηκε τόσο για την εξαγωγή των χαρακτηριστικών όσο και για τα δύο νευρωνικά δίκτυα είναι γραμμένος σε Matlab.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Τα σενάρια που δοκιμάστηκαν περιλάμβαναν την εκτέλεση των δύο νευρωνικών δικτύων σε τέσσερεις διαφορετικές περιπτώσεις. Βλάβη στα έδρανα κύλισης No 1 και 2 και επιλογή 1ης και 5ης σχέσης στο κιβώτιο.

3.1. 1ο Σενάριο: Βλάβη στο έδρανο κύλισης No. 2

Μετά την εκτέλεση των δύο νευρωνικών δικτύων τα αποτελέσματα που προέκυψαν παραθέτονται στο Πίνακα 1. Συγκεκριμένα παρατηρείται ότι το σύστημα είναι σε θέση να αναγνωρίζει σε ποσοστό 100% το επίπεδο στο οποίο εμφανίζεται η βλάβη (Επίπεδο 1) τόσο στην 1η σχέση όσο και στην 5η σχέση. Επίσης παρόλο που η εκπαίδευση πραγματοποιήθηκε σε περιβάλλον με φορτίο στην έξοδο 10Nm είναι σε θέση να αναγνωρίζει σε ποσοστό 100% τη βλάβη και με διαφορετικά φορτία στην έξοδο του κιβωτίου (0,5,10Nm) (1η και 5η σχέση). Αφού πλέον έχει γίνει ο προσδιορισμός του επιπέδου στο οποίο εμφανίζεται η βλάβη εκτελείτε το δεύτερο νευρωνικό δίκτυο το οποίο διαγνώσκει την ακριβή θέση του προβληματικού εδράνου κύλισης. Η

ακρίβεια είναι της τάξεως των 99,31% για φορτίο 0Nm στην έξοδο και 100% για τα άλλα δύο φορτία (5 και 10Nm)(1η σχέση) και 99,92% για φορτίο 0Nm στην έξοδο και 100% για τα άλλα δύο φορτία (5 και 10Nm) (5η σχέση).

3.2. 2ο Σενάριο: Βλάβη στο έδρανο κύλισης No. 1

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την εκτέλεση του δεύτερου σεναρίου παραθέτονται στον Πίνακα 2. Και στην περίπτωση αυτή παρατηρείται ότι το σύστημα είναι σε θέση να αναγνωρίζει με μεγάλο ποσοστό (100%) το επίπεδο στο οποίο εμφανίζεται η βλάβη (Επίπεδο 1).

Με την εκτέλεση του δεύτερου δικτύου γίνεται και ο προσδιορισμός της ακριβούς θέσης του ελαττωματικού εδράνου κύλισης στο κιβώτιο. Η ακρίβεια είναι της τάξεως των 67,48% για φορτίο 0NM στην έξοδο και 100% για τα άλλα δύο φορτία (5 και 10Nm)(1η σχέση) και 97,86% για φορτίο 0Nm στην έξοδο και 100% για τα άλλα δύο φορτία (5 και 10Nm) (5η σχέση).

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Έχει αποδειχθεί ότι το νευρωνικό δίκτυο MLP-ARD μπορεί να παρέχει αξιόπιστα αποτελέσματα χρησιμοποιώντας σαν εισόδους χαρακτηριστικές (στο πεδίο του χρόνου και στο πεδίο της συχνότητας) που προέκυψαν από σήματα δόνησης. Οι χαρακτηριστικές αυτές λόγο της φύσης τους μπορούν να χρησιμοποιηθούν με μεγάλη επιτυχία στο πεδίο της διάγνωσης σφαλμάτων σε έδρανα κύλισης. Συνεπώς μπορούν να αποβούν σε συνδυασμό με το κατάλληλο δίκτυο σε ένα ισχυρό εργαλείο τόσο για την παρακολούθησης της κατάστασης των εδράνων κύλισης όσο και για την έγκαιρη διάγνωση της ύπαρξης ή όχι σφάλματος. Επίσης μπορούν να προσδιορίσου με αρκετή ακρίβεια και το σημείο στο οποίο αυτό εμφανίζεται.

Η εξαγωγή των χαρακτηριστικών από τα σημάτα που λαμβάνονται από τα επιταχυνσιόμετρα (τριαξονικά και μονοαξονικά) στον κατακόρυφο και τον οριζόντιο άξονα αυξάνει την ακρίβεια της ανίχνευσης του σφάλματος φτάνοντας σε ποσοστό 99% για διαφορετικούς τύπους βλαβών σε διάφορα σημεία του κιβωτίου. Το σύστημα διαθέτει επίσης την ικανότητα να παρόλο που εκπαιδεύεται σε μια τιμή φορτίου στην έξοδο του κιβωτίου να διατηρεί σε υψηλά ποσοστά την ικανότητά του να διαγνώσκει με ακρίβεια τις βλάβες παρόλο που το φορτίο στην έξοδο του μεταβάλλεται.

Έχει προγραμματιστεί η έρευνα επάνω στο αντικείμενο αυτό να επεκταθεί ούτως ώστε να περιλαμβάνει περισσότερα δεδομένα από διαφορετικούς αισθητήρες, διαφορετικές χαρακτηριστικές και μεγέθη σφαλμάτων σε έδρανα κύλισης καθώς και σφάλματα στα γρανάζια των κιβωτίων σχέσεων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Bouillaut, L., Sidahmed, M., 2001. Helicopter gearbox vibrations: cyclo-stationary analysis or bilinear approach? ISSPA, Kuala Lumpur, Malaysia, 13–16 August, 2001

Jack, L.B., Nandi, A.K., 2002. Fault detection using support vector machines and artificial neural networks, augmented by genetic algorithms, Mechanical Systems and Signal Processing 16: 373–390

Lei, Y., He, Z., Zi, Y., 2008. A new approach to intelligent fault diagnosis of rotating machinery, Expert Systems and Applications. 36: 1593-1600

Monsen, P.T., Manolakos, E.S., Dzwonczyk, M. 1993. Helicopter gearbox fault detection and diagnosis using analog neural networks, in: Signals, Systems and Computers, 27th Asilomar Conference, 1–3 November, 1993, 1: 381–385

Moshou, D., Kateris, D., Gravalos,I., Loutridis, S., Sawalhi, N., Gialamas, Th., Xyradakis, P. & Tsiropoulos, Z., 2010. Determination of fault topology in mechanical subsystems of agricultural machinery based on feature fusion and neural networks. 4th International Conference TAE 2010, Czech University of Life Sciences Prague, 448-453

Rafiee, J., Arvani, F., Harifi, A., Sadeghi, M.H., 2007. Intelligent condition monitoring of a gearbox using artificial neural network, Mechanical Systems and Signal Processing, 21: 1746-1754

Samanta, B., 2004. Artificial neural networks and genetic algorithms for gear fault detection, Mechanical Systems and Signal Processing 18: 1273–1282

Wilson, Q.W., Ismail, F., Golnaraghi, M.F., 2001. Assessment of gear damage monitoring techniques using vibration measurements Mechanical Systems and Signal Processing, 15(5): 905–922

Πίνακας 1. Αποτελέσματα εκτέλεσης 1ου σεναρίου (Βλάβη στο έδρανο κύλισης No. 2)

1η σχέση στο κιβώτιο 2700 -300rpm - Εκπαίδευση στα 10Nm

Χρήση τριαξονικών επιταχυνσιομέτρων		Επίπεδο 1 Ρουλεμάν χωρίς βλάβη	Επίπεδο 2 Ρουλεμάν χωρίς βλάβη	Επίπεδο 1 Ρουλεμάν με βλάβη	Επίπεδο 2 Ρουλεμάν με βλάβη
Τεστ 0Nm	(%)	0	0	100	0
Τεστ 5Nm	(%)	0	0	100	0
Τεστ 10Nm	(%)	0	0	100	0
Χρήση μονοαξονικών επιταχυνσιομέτρων		(Επίπεδο 1 ή 2) **άνω** Ρουλεμάν **χωρίς** βλάβη	(Επίπεδο 1 ή 2) **κάτω** Ρουλεμάν **χωρίς** βλάβη	(Επίπεδο 1 ή 2) **άνω** Ρουλεμάν **με** βλάβη	(Επίπεδο 1 ή 2) **κάτω** Ρουλεμάν **με** βλάβη
Τεστ 0Nm	(%)	0	0,61	0,08	99,31
Τεστ 5Nm	(%)	0	0	0	100
Τεστ 10Nm	(%)	0	0	0	100

5η σχέση στο κιβώτιο 2700 -2700rpm - Εκπαίδευση στα 10Nm

Χρήση τριαξονικών επιταχυνσιομέτρων		Επίπεδο 1 Ρουλεμάν χωρίς βλάβη	Επίπεδο 2 Ρουλεμάν χωρίς βλάβη	Επίπεδο 1 Ρουλεμάν με βλάβη	Επίπεδο 2 Ρουλεμάν με βλάβη
Τεστ 0Nm	(%)	0	0	100	0
Τεστ 5Nm	(%)	0	0	100	0
Τεστ 10Nm	(%)	0	0	100	0
Χρήση μονοαξονικών επιταχυνσιομέτρων		(Επίπεδο 1 ή 2) **άνω** Ρουλεμάν **χωρίς** βλάβη	(Επίπεδο 1 ή 2) **κάτω** Ρουλεμάν **χωρίς** βλάβη	(Επίπεδο 1 ή 2) **άνω** Ρουλεμάν **με** βλάβη	(Επίπεδο 1 ή 2) **κάτω** Ρουλεμάν **με** βλάβη
Τεστ 0Nm	(%)	0	0,08	0	99,92
Τεστ 5Nm	(%)	0	0	0	100
Τεστ 10Nm	(%)	0	0	0	100

Πίνακας 2. Αποτελέσματα εκτέλεσης 3ου σεναρίου (Βλάβη στο έδρανο κύλισης No. 1)

1η σχέση στο κιβώτιο 2700 -300rpm - Εκπαίδευση στα 10Nm

Χρήση τριαξονικών επιταχυνσιομέτρων		Επίπεδο 1 Ρουλεμάν χωρίς βλάβη	Επίπεδο 2 Ρουλεμάν χωρίς βλάβη	Επίπεδο 1 Ρουλεμάν με βλάβη	Επίπεδο 2 Ρουλεμάν με βλάβη
Τεστ 0Nm	(%)	0	0	100	0
Τεστ 5Nm	(%)	0	0	100	0
Τεστ 10Nm	(%)	0	0	100	0
Χρήση μονοαξονικών επιταχυνσιομέτρων		(Επίπεδο 1 ή 2) **άνω** Ρουλεμάν **χωρίς** βλάβη	(Επίπεδο 1 ή 2) **κάτω** Ρουλεμάν **χωρίς** βλάβη	(Επίπεδο 1 ή 2) **άνω** Ρουλεμάν **με** βλάβη	(Επίπεδο 1 ή 2) **κάτω** Ρουλεμάν **με** βλάβη
Τεστ 0Nm	(%)	0,15	0	67,48	32,37
Τεστ 5Nm	(%)	0	0	100	0
Τεστ 10Nm	(%)	0	0	100	0

5η σχέση στο κιβώτιο 2700 -2700rpm - Εκπαίδευση στα 10Nm

Χρήση τριαξονικών επιταχυνσιομέτρων		Επίπεδο 1 Ρουλεμάν χωρίς βλάβη	Επίπεδο 2 Ρουλεμάν χωρίς βλάβη	Επίπεδο 1 Ρουλεμάν με βλάβη	Επίπεδο 2 Ρουλεμάν με βλάβη
Τεστ 0Nm	(%)	0	0	100	0
Τεστ 5Nm	(%)	0	0	100	0
Τεστ 10Nm	(%)	0	0	100	0
Χρήση μονοαξονικών επιταχυνσιομέτρων		(Επίπεδο 1 ή 2) **άνω** Ρουλεμάν **χωρίς** βλάβη	(Επίπεδο 1 ή 2) **κάτω** Ρουλεμάν **χωρίς** βλάβη	(Επίπεδο 1 ή 2) **άνω** Ρουλεμάν **με** βλάβη	(Επίπεδο 1 ή 2) **κάτω** Ρουλεμάν **με** βλάβη
Τεστ 0Nm	(%)	0	0	97,86	2,14
Τεστ 5Nm	(%)	0	0	100	0
Τεστ 10Nm	(%)	0	0	100	0

ΣΥΣΤΗΜΑΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΧΡΟΝΙΚΗΣ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗΣ ΤΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ ΣΤΗ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗ ΣΕ ΕΝΑ ΜΑΚΡΟΧΡΟΝΙΟ ΠΕΙΡΑΜΑ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΩΝ

Χ. Καβαλάρης, Χ. Καραμούτης, Δ. Αναγνωστόπουλος, Σ. Φουντάς και Θ.Α. Γέμτος
Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής & Αγροτικού Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Οδός Φυτόκου, Νέα Ιωνία Μαγνησίας, Τ.Κ. 384446

Σε ένα μακροχρόνιο πείραμα σύγκρισης τριών μεθόδων μειωμένης κατεργασίας του εδάφους, δύο ακαλλιέργειας, και μιας συμβατικής, έγινε κατά τα πρώτα στάδια ανάπτυξης μιας καλλιέργειας ηλίανθου συστηματική καταγραφή σε τακτά χρονικά διαστήματα της αντίστασης του εδάφους στην διείσδυση. Παράλληλα πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους και μετρήθηκε το μήκος της κεντρικής ρίζας του ηλίανθου. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων έδειξαν ότι για τα πρώτα 15 περίπου εκατοστά υπήρχε αυξημένη αντίσταση του εδάφους στην διείσδυση σε δύο από τις τρεις μεθόδους μειωμένης κατεργασίας, και ιδίως στην ακαλλιέργεια. Σε μεγαλύτερο βάθος ωστόσο η ακαλλιέργεια παρουσίασε καλύτερη συμπεριφορά. Με παρεμβολή των στοιχείων διαπιστώθηκε ότι στην ακαλλιέργεια το έδαφος σε βάθος μέχρι 15cm, για περισσότερες από τις μισές ημέρες, παρουσίαζε αντίσταση στην διείσδυση μεγαλύτερη από 2500kPa, όριο στο οποίο θεωρείται ότι αναστέλλεται η ανάπτυξη της ρίζας. Το γεγονός αυτό επιβεβαιώθηκε και από τις μετρήσεις του μήκους του ριζικού συστήματος. Στην ακαλλιέργεια οι κεντρικές ρίζες ήταν πιο κοντές. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους η οποία σχετίζεται άμεσα με την υγρασία αυτού, παρουσίασε αρνητική συσχέτιση με την αντίσταση στη διείσδυση. Φαίνεται ότι για τις ξηροθερμικές συνθήκες της Μεσογείου, η αυξημένη συνεκτικότητα του ακαλλιέργητου εδάφους επιδεινώνεται από τις συνθήκες χαμηλής υγρασίας με αποτέλεσμα να προκαλείται μια ανάσχεση της ανάπτυξης του ριζικού συστήματος των καλλιεργειών η οποία εν τέλει ευθύνεται για τη μείωση των αποδόσεων.

Λέξεις κλειδιά: Αντίσταση στη διείσδυση, Ηλεκτρική αγωγιμότητα, Κατεργασία του εδάφους, Ακαλλιέργεια

SYSTEMATIC STUDY OF TIME VARIATION OF SOIL PENETRATION RESISTANCE ON A LONG TERM TILLAGE EXPERIMENT

C. Cavalaris, C. Karamoutis, D. Anagnostopoulos, S. Fountas and T.A. Gemtos
Laboratory of Agricultural Mechanization, Department of Agriculture Crop Production and Rural Environment, University of Thessaly, Fytokou Street, N. Ionia, GR-38446, Volos, Greece chkaval@uth.gr

On a long term tillage experiment with three methods of reduced tillage, two treatments of no-tillage and one method of conventional tillage, soil penetration resistance was systematic measured during the first stages of development of a sunflower crop. At the same time, it was monitored soil electric conductivity and sunflower root length. The experimental results indicated an increased penetration resistance at the first 15 cm of soil for two from the three reduced tillage methods and especially for no-tillage. On a greater depth however, no tillage presented lower PR values. With data interpolation it was found that in no-tillage treatments, for more than half of the days, PR was greater than 2500kPa, a limit above which root development is considered to be inhibited. This fact was confirmed by the shorter roots found in no-tillage. Soil electric conductivity which is directly correlated to soil moisture content presented an opposite correlation with soil penetration resistance. It seems that under the dry Mediterranean conditions, the increased soil consistency in no-tillage is further exacerbated by the low moisture content resulting in reduced root development and finally, reduced yields.

Key words: Soil penetration resistance, Electric conductivity, Soil tillage, No-tillage

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η συμπίεση του εδάφους αποτελεί μια κρίσιμη παράμετρο που επηρεάζει την ανάπτυξη του ριζικού συστήματος των φυτών, και έχει κατ΄ επέκταση αρνητικές επιπτώσεις στην παραγωγή (Chancellor, 1977). Κύρια αιτία της συμπίεσης των εδαφών είναι η κίνηση βαρέων μηχανημάτων στον αγρό, ιδίως σε συνθήκες υψηλής εδαφικής υγρασίας (Tarawally et al., 2004). Με την ετήσια κατεργασία του εδάφους επιδιώκεται μια πρόσκαιρη ανακούφιση της συμπίεσης έτσι ώστε να μειωθεί η συνεκτικότητα και να δημιουργηθεί ένα προσωρινά ευνοϊκό περιβάλλον για την ανάπτυξη της καλλιέργειας. Η προσέγγιση αυτή όμως δεν μπορεί να δώσει λύση στο μακροχρόνιο πρόβλημα της αυξημένης συμπίεσης που εμφανίζεται κάτω από το βάθος κατεργασίας. Για την αντιμετώπιση της βαθιάς συμπίεσης καθώς και για μια σειρά από άλλα σημαντικά οφέλη που σχετίζονται με την προστασία του εδάφους και την διατήρηση της γονιμότητάς του, προτείνεται η εφαρμογή μεθόδων μειωμένης κατεργασίας η ακαλλιέργειας γνωστά και ως συστήματα αειφορίας. Στα συστήματα αυτά οι απαιτήσεις ισχύος για την προετοιμασία των αγρών είναι περιορισμένες με αποτέλεσμα να χρειάζονται μικρότεροι και ελαφρύτεροι ελκυστήρες για την περαίωση των εργασιών (Raper, R.L. and Mac Kirby, 2006) οι οποίοι φυσικά προκαλούν μικρότερη συμπίεση. Επιπλέον το έδαφος αποκτά σταθερότερη δομή με συνέπεια να ανθίσταται μεγαλύτερα φορτία. Θα πρέπει να λεχθεί ωστόσο ότι κατά την εφαρμογή μεθόδων αειφορικής διαχείρισης η συνεκτικότητα

στην ανώτερη επιφάνεια του εδάφους είναι συνήθως αυξημένη εξαιτίας του περιορισμού των ετήσιων διορθωτικών επεμβάσεων της κατεργασίας. Αυτό όμως δεν αποτελεί ιδιαίτερο πρόβλημα διότι στην πραγματικότητα αλλάζει η συνολική δομή του εδάφους και δημιουργούνται κατακόρυφοι πόροι που διευκολύνουν την κίνηση του νερού και την ανάπτυξη των ριζών (Castellanos-Navarrete et al., 2012).

Η πιο εύκολη και ταχεία μέθοδος για την εκτίμηση στης συμπίεσης του εδάφους είναι η μέτρηση της αντίστασης αυτού στην διείσδυση. Η μέθοδος έχει τυποποιηθεί από την ASABE (ASABE Standards S313.2. 2008) και χρησιμοποιείται ευρέως στα γεωργικά πειράματα. Το κύριο μειονέκτημά της είναι ότι επηρεάζεται σημαντικά από την υγρασία του εδάφους και γι΄ αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο σε συγκριτικές μετρήσεις. Η υγρασία του εδάφους, κάτω από την επιφάνεια είναι δύσκολο και συχνά χρονοβόρο να μετρηθεί με εξαίρεση όταν χρησιμοποιούνται μόνιμοι αισθητήρες. Αυτοί ωστόσο έχουν υψηλό κόστος εγκατάστασης και φυσικά δεν μπορούν να μείνουν στο έδαφος όταν γίνονται κατεργασίες. Μια εναλλακτική προσέγγιση στο πιο πάνω πρόβλημα είναι η έμμεση εκτίμηση της υγρασίας του εδάφους μέσω της μέτρησης της ηλεκτρικής αγωγιμότητας αυτού. Οι Morgan et al., (2000) διαπίστωσαν μια σημαντική συσχέτιση μεταξύ της υγρασίας σε βάθος 1m και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους. Η μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας μπορεί να γίνει ταχύτατα και με μεγάλη συχνότητα δειγματοληψίας χρησιμοποιώντας συσκευές όπως το VERIS της Veristech και το EM38 της Geonics.

Στόχος της παρούσας μελέτης είναι η συστηματική καταγραφή της αντίστασης του εδάφους στην διείσδυση σε συνδυασμό με την ηλεκτρική αγωγιμότητα αυτού σε συστήματα αειφορικής διαχείρισης με σκοπό την διερεύνηση της χρονικής διακύμανσης της συνεκτικότητας του εδάφους και της επίπτωσης αυτής στην ανάπτυξη των ριζών.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν το 2011 σε έναν πειραματικό αγρό στο Αγρόκτημα του Π.Θ. στον οποίο από το 1997 γίνεται σύγκριση πέντε διαφορετικών μεθόδων κατεργασίας του εδάφους. Οι μέθοδοι αυτές είναι:

1) Συμβατική κατεργασία (Σ). Όργωμα σε βάθος περίπου 25-30 cm και προετοιμασία της σποροκλίνης με αλλεπάλληλα περάσματα με δισκοσβάρνα και ελαφρύ καλλιεργητή ανάλογα με τις συνθήκες.
2) Μειωμένη κατεργασία με βαρύ καλλιεργητή (ΒΚ). Πρωτογενής κατεργασία με ένα βαρύ καλλιεργητή στα 20 cm περίπου και προετοιμασία της σποροκλίνης όπως στη συμβατική.
3) Μειωμένη κατεργασία με περιστροφικό καλλιεργητή (ΠΚ). Χρησιμοποιείται ένας περιστροφικός καλλιεργητής με κατακόρυφα ελάσματα για προετοιμασία του εδάφους με ένα μόνο πέρασμα. Το βάθος κατεργασίας κυμαίνεται στα 12-15 cm.
4) Μειωμένη κατεργασία με δισκοσβάρνα (Δ). Αβαθής κατεργασία του εδάφους μέχρι τα 8 cm περίπου με δύο ή και περισσότερα περάσματα αποκλειστικά με δισκοσβάρνα
5) Ακαλλιέργεια. Η μεταχείριση αυτή διαιρέθηκε σε δύο υπο-μεταχειρίσεις: Ακαλλιέργεια με απομάκρυνση των φυτικών υπολειμμάτων (Α) και ακαλλιέργεια με διατήρηση των φυτικών υπολειμμάτων (Αm). Και στις δύο υπο-μεταχειρίσεις γίνονταν απευθείας σπορά χωρίς καμία προετοιμασία του εδάφους, ενώ τα ζιζάνια όταν κρίνεται απαραίτητο καταστρέφονται με glyphosate.

Το έδαφος του αγρού είναι ιλυο-αργιλώδες (Άμμος 9,7%, Ιλύς 41%, Άργιλος 49,2%). Το πειραματικό σχέδιο που χρησιμοποιήθηκε ήταν πλήρως τυχαιοποιημένες ομάδες με τέσσερις επαναλήψεις. Τα πειραματικά τεμάχια είχαν διαστάσεις 21x6 cm. Το 2011 καλλιεργήθηκε ηλίανθος σε γραμμές πλάτους 75 cm και αποστάσεων σπόρων 14,7 cm επί της γραμμής. Η σπορά έγινε στις 11/4/2011.

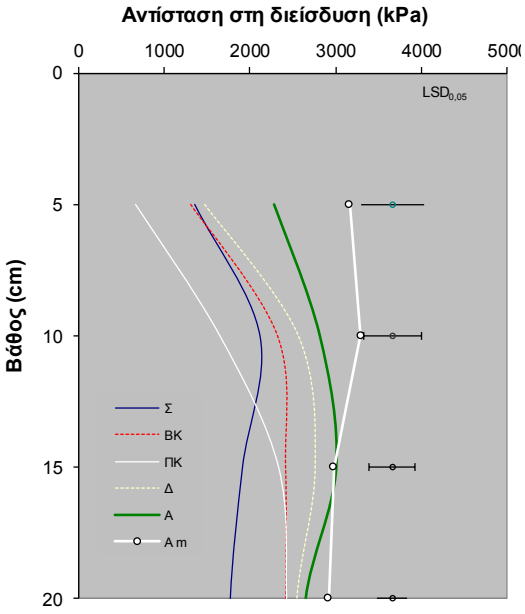
Οι μετρήσεις που παρουσιάζονται στην παρούσα μελέτη αφορούν την αντίσταση του εδάφους στην διείσδυση, την ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους και το μήκος της ρίζας του ηλίανθου.

Για τις μετρήσεις της αντίστασης του εδάφους στην διείσδυση χρησιμοποιήθηκε ένα ηλεκτρονικό διεισδυσιόμετρο με ικανότητα αυτόματης καταγραφής και καταχώρησης της αντίστασης σε διαστήματα των 1cm και μέχρι τα 50cm. Κατά τις μετρήσεις ακολουθήθηκαν τα πρότυπα του ASABE (ASABE Standards S313.2. 2008). Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν στο διάστημα από 21/5 έως 6/7/2011 σε μεσοδιαστήματα 3-5 ημερών. Συνολικά λήφθησαν 15 σειρές μετρήσεων. Το βάθος δειγματοληψίας ακολουθούσε το βάθος ανάπτυξης των ριζών. Μέχρι τις 26/5 αφορούσε τα πρώτα 20 cm του εδάφους ενώ από τις 1/6 αφορούσε μέχρι και τα 50 cm. Σε κάθε τεμάχιο γίνονταν 4 διεισδύσεις από τις οποίες προέκυψαν οι μέσοι όροι ανά 5 cm.

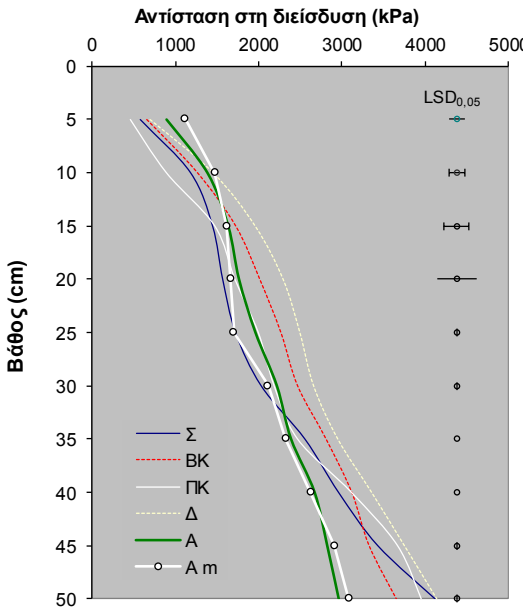
Η ηλεκτρική αγωγιμότητα μετρήθηκε με το σύστημα EM38 της Geonics. Το όργανο χρησιμοποιήθηκε στην κατακόρυφη θέση στην οποία εκτιμά την ηλεκτρική αγωγιμότητα σε βάθος μέχρι και ένα μέτρο. Έγιναν συνολικά πέντε μετρήσεις στο διάστημα μεταξύ 25/6 έως 6/7, παράλληλα με τις μετρήσεις της αντίστασης στην διείσδυση. Το κάθε πειραματικό τεμάχιο σαρώνονταν κατά μήκος με ελικοειδής διαδρομές. Από το σύνολο των τιμών υπολογίστηκε ένας μέσος όρος για κάθε τεμάχιο.

Για την εκτίμηση της ανάπτυξης του ριζικού συστήματος του ηλίανθου εκριζώθηκαν από κάθε τεμάχιο 5 φυτά και μετρήθηκε επί τόπου το μήκος της κεντρικής ρίζας. Η εκρίζωση έγινε με εκσκαφή στις 26/5, 45 ημέρες από την σπορά και σε στάδιο όπου οι νεαρές ρίζες δεν ξεπερνούσαν τα 15cm. Από τις πέντε μετρήσεις για κάθε τεμάχιο προέκυψε ένας μέσος όρος.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ



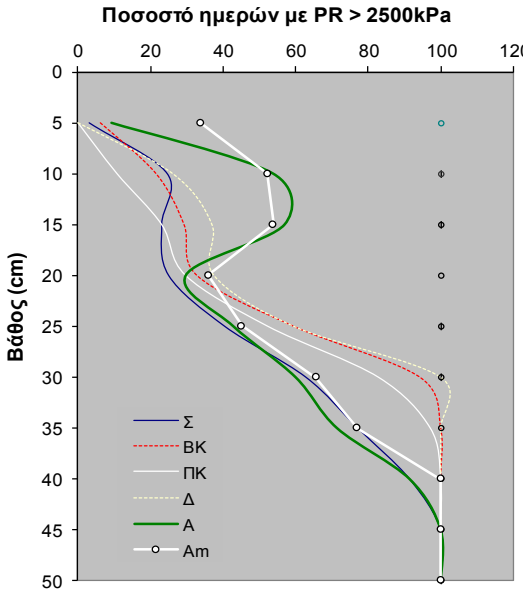
Διάγραμμα 1. Αντίσταση του εδάφους στη διείσδυση στις 23/5/2011.



Διάγραμμα 2. Αντίσταση του εδάφους στη διείσδυση στις 17/6/2011.

Στα Διαγράμματα 1 & 2 παριστάνεται η κατακόρυφη διαφοροποίηση της αντίστασης του εδάφους στην διείσδυση για τις 6 μεθόδους κατεργασίας του εδάφους σε δύο ενδεικτικές ημερομηνίες. Στις 23/5 όπου το ριζικό σύστημα είναι ακόμη ρηχό και η μέτρηση έγινε μέχρι τα 20 cm και στις 17/6 όπου το ριζικό σύστημα έχει αναπτυχθεί πλήρως και η μέτρηση έγινε μέχρι τα 50 cm. Στις 23/5, (Διάγραμμα 1) είναι φανερό ότι τις υψηλότερες τιμές παρουσιάζουν τα δύο συστήματα της ακαλλιέργειας. Στις 17/6, (Διάγραμμα 2) διαπιστώνεται και πάλι ότι οι δύο μεταχειρίσεις της ακαλλιέργειας παρουσιάζουν υψηλότερες τιμές στα επιφανειακά 0-10 cm εδάφους. Και στις δύο ημερομηνίες, την χαλαρότερη στοιβάδα εμφανίζει ο περιστροφικός καλλιεργητής. Σε μεγαλύτερο βάθος ωστόσο την μεγαλύτερη αντίσταση παρουσιάζουν η δισκοσβάρνα και ο βαρύς καλλιεργητής.

Στο Διάγραμμα 3 με παρεμβολή των στοιχείων υπολογίζεται το ποσοστό των ημερών μεταξύ 3/5 και 6/7, κατά το οποίο η αντίσταση στην διείσδυση είναι μεγαλύτερη από 2500kPa. Σύμφωνα με τον Bennie (1996) η ανάπτυξη της ρίζας των φυτών αναστέλλεται όταν η αντίσταση του εδάφους υπερβαίνει την πιο πάνω τιμή. Καθώς φαίνεται από τις καμπύλες οι δύο μεταχειρίσεις της ακαλλιέργειας παρουσιάζουν χαρακτηριστικά υψηλότερη συμπίεση μέχρι τα 15 cm. Το φαινόμενο αυτό πιθανώς οφείλεται στον συνδυασμό της αυξημένης αντίστασης όπως έδειξαν τα Διαγράμματα 1 & 2 και της χαμηλής υγρασίας του επιφανειακού εδάφους. Σε μεγαλύτερο βάθος αντίθετα, και μέχρι τα 40 cm, Διάγραμμα 3, οι δύο μεταχειρίσεις της ακαλλιέργειας παρουσιάζουν μειωμένη αντίσταση στη διείσδυση όπως και το όργωμα ενώ οι υψηλότερες τιμές διακρίνονται στον βαρύ καλλιεργητή και τη δισκοσβάρνα.

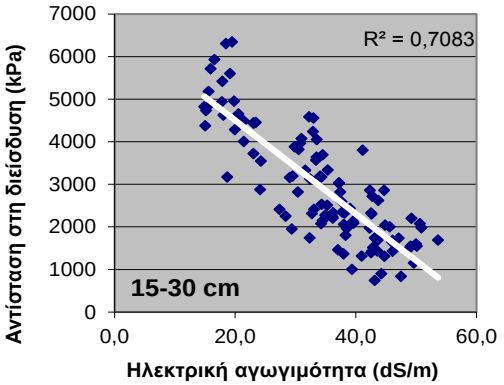


Διάγραμμα 3. Ποσοστό ημερών με αντίσταση στην διείσδυση > 2500kPa.

Πίνακας 1. Ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους

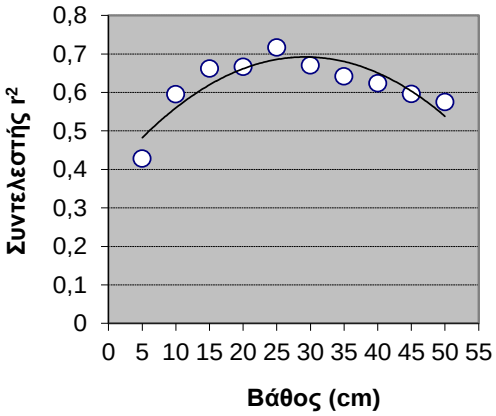
	Ηλεκτρική αγωγιμότητα (dS/m)				
	25/6	**28/6**	**1/7**	**4/7**	**6/7**
Σ	46,1	17,4	41,9	36,6	32,8
ΒΚ	47,8	17,9	41,5	35,2	32,4
ΠΚ	47,7	18,8	38,1	33,8	30,8
Δ	48,7	19,8	39,3	33,3	29,9
Α	46,6	21,2	38,1	33,2	31,1
Α m	46,6	20,7	39,8	33,2	30,2
	ns	*	ns	ns	ns
$LSD_{0,05}$	-	2,5	-	-	-
CV%	5,0	9,0	7,8	11,1	9,0

Ο Πίνακας 1 δείχνει τα αποτελέσματα των μετρήσεων της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους για το διάστημα μεταξύ 25/6 εώς 6/7. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα σχετίζεται άμεσα με την υγρασία του εδάφους (Morgan et al., 2000). Από τα στοιχεία του πίνακα διαφαίνεται, δίχως να είναι στατιστικά σημαντική, μια τάση για τις δύο μεταχειρίσεις της ακαλλιέργειας να εμφανίζουν μικρότερη ηλεκτρική αγωγιμότητα σε σχέση με τις υπόλοιπες μεθόδους, Αυτό όμως δεν ισχύει για τις 28/6, ημερομηνία κατά την οποία η ηλεκτρική αγωγιμότητα ήταν χαμηλή σε όλες τις μεθόδους, γεγονός που υποδηλώνει μειωμένη περιεκτικότητα σε υγρασία. Στην ημερομηνία αυτή διαπιστώνεται μια στατιστικά σημαντική διαφοροποίηση για την ακαλλιέργεια η οποία εμφανίζει υψηλότερες τιμές, πιθανή ένδειξη ότι το έδαφος στεγνώνει πιο αργά σε σχέση με τις άλλες κατεργασίες. Το στοιχείο αυτό πιθανώς σχετίζεται την χαμηλή αντίσταση στην διείσδυση που παρουσιάζουν οι μεταχειρίσεις της ακαλλιέργειας σε μεγαλύτερα βάθη. Όπως εξάλλου φαίνεται και στο Διάγραμμα 4, η αντίσταση στην διείσδυση παρουσιάζει μια ισχυρά αρνητική συσχέτιση με την ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους. Το διάγραμμα προέκυψε από την συσχέτιση των τιμών της ηλεκτρικής αγωγιμότητας που μετρήθηκε στο διάστημα μεταξύ 25/6 και 6/7 και των μέσων όρων της αντίστασης του εδάφους στη διείσδυση για το βάθος των 15-30 cm για το ίδιο διάστημα. Αντίστοιχα διαγράμματα έγιναν για όλα τα βάθη δειγματοληψίας ανά διαστήματα 5 cm και μέχρι τα 50 cm. Όπως φαίνεται και στο Διάγραμμα 5, η υψηλότερη συσχέτιση μεταξύ των δύο παραμέτρων διαπιστώνεται μεταξύ 15-30 cm.



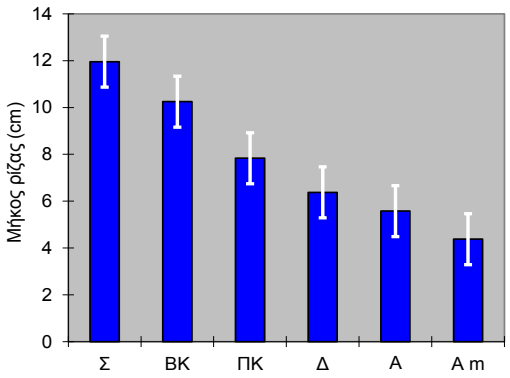
Διάγραμμα 4. Συσχέτιση ηλεκτρικής αγωγιμότητας με αντίσταση στην διείσδυση σε βάθος 15-30cm.

Οι μετρήσεις του μήκους της ρίζας 45 ημέρες από τη σπορά έδειξαν μια σαφή υπεροχή για τις πιο εντατικές μεθόδους κατεργασίας (Διάγραμμα 6). Το βαθύτερο ριζικό σύστημα αναπτύχθηκε στη συμβατική μέθοδο ενώ για την ακαλλιέργεια η δυσκολία στην ανάπτυξη της ρίζας ήταν εμφανής. Όπως φαίνεται και στο Διάγραμμα 7 υπήρξε αρνητική συσχέτιση μεταξύ του μήκους της ρίζας και της αντίστασης του εδάφους στη διείσδυση.

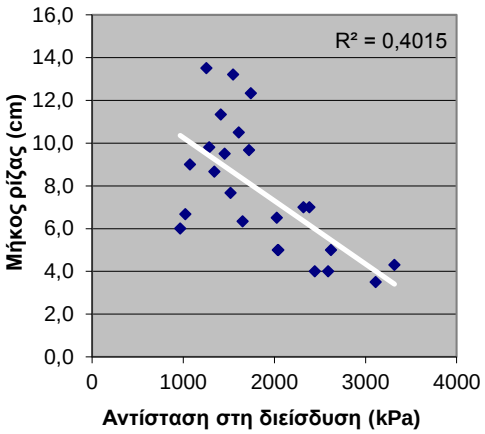


Διάγραμμα 5. Συντελεστές συσχέτισης ηλεκτρικής αγωγιμότητας με αντίσταση στην διείσδυση για διάφορα βάθη

.



Διάγραμμα 6. Μήκος ρίζας για τις 6 μεθόδους κατεργασίας



Διάγραμμα 7. Συσχέτιση αντίστασης του εδάφους στην διείσδυση με το μήκος ρίζας

4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Στο μακροχρόνιο πείραμα κατεργασιών που χρησιμοποιήθηκε, έχει διαπιστωθεί μια τάση μείωσης των αποδόσεων με την μετάβαση σε συστήματα μειωμένης κατεργασίας ή ακαλλιέργειας (Τσιάνος και άλλοι, 2007). Η μείωση αυτή αποδόθηκε αρχικά στον αυξημένο ανταγωνισμό των ζιζανίων και στην αυξημένη συμπίεση του εδάφους.

Σε επόμενη μελέτη διαπιστώθηκε ότι τα ζιζάνια ευθύνονται μόνο για το 10% της μείωσης των αποδόσεων (Καβαλάρης και άλλοι, 2009). Με τη συστηματική αποτύπωση της αντίστασης του εδάφους στη διείσδυση επιδιώκεται στην παρούσα μελέτη η διερεύνηση της επίδρασης της συμπίεσης του εδάφους στην ανάπτυξη της καλλιέργειας. Τα στοιχεία των μετρήσεων δείχνουν ότι κατά τα αρχικά στάδια ανάπτυξης της καλλιέργειας το έδαφος στην ακαλλιέργεια, για πάνω από το 50% των ημερών, παρουσιάζει αντίσταση στην διείσδυση μεγαλύτερη από 2500KPa. Το όριο αυτό θεωρείται αποτρεπτικό για την ανάπτυξη των ριζών. Στη πραγματικότητα μάλιστα η δυσκολία στην επιμήκυνση της ρίζας εμφανίζεται πολύ πιο χαμηλά ξεκινώντας από τα 1200kPa και εξαρτάται από το είδος της καλλιέργειας (*Bennie, 1996*) Τα αποτελέσματα των μετρήσεων του μήκους της ρίζας επιβεβαιώνουν την πιο πάνω υπόθεση. Αντίθετα με τα αποτελέσματα πολλών άλλων πειραμάτων που αναφέρονται σε πιο υγρά κλίματα (An Van den Puttea et al. 2010) φαίνεται ότι για τις ξηροθερμικές συνθήκες της Μεσογείου, όπου τα εδάφη στεγνώνουν σχετικά γρήγορα, η συνεκτικότητα του εδάφους προσεγγίζει επίπεδα τα οποία δυσχεραίνουν την ομαλή ανάπτυξη του ριζικού συστήματος γεγονός που έχει αρνητικό αντίκτυπο στις τελικές αποδόσεις των καλλιεργειών. Οι μετρήσεις της ηλεκτρικής αγωγιμότητας η οποία σχετίζεται άμεσα με την υγρασία του εδάφους δείχνουν ότι στην ακαλλιέργεια, το έδαφος διατηρείται πιο υγρό σε σχέση με τις υπόλοιπες μεθόδους όταν η υγρασία του εδάφους κυμαίνεται σε χαμηλά επίπεδα, είναι όμως πιο ξηρό όταν η υγρασία είναι υψηλή. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα παρουσίασε αρνητική συσχέτιση με την αντίσταση του εδάφους στη διείσδυση ιδίως στο βάθος των 15-30 cm. Στη συνέχεια της παρούσας έρευνας σχεδιάζεται παράλληλα με τις μετρήσεις της αντίστασης στην διείσδυση και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας η λήψη δειγμάτων εδάφους για μέτρηση της υγρασίας και συσχέτισή αυτής με τις υπόλοιπες παραμέτρους.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η συστηματική καταγραφή της αντίστασης του εδάφους στην διείσδυση δείχνει ότι για τις ξηροθερμικές συνθήκες της Μεσογείου, η υψηλή συνεκτικότητα του εδάφους στα συστήματα μειωμένης κατεργασίας και ιδίως της ακαλλιέργειας, δυσχεραίνει την ανάπτυξη των ριζών. Η συνεκτικότητα αυτή επιδεινώνεται από τα χαμηλά επίπεδα υγρασίας που επικρατούν στα εδάφη. Κατά τα αρχικά στάδια της ανάπτυξης για περισσότερες από τις μισές ημέρες το έδαφος στην ακαλλιέργεια παρουσιάζει αντίσταση στην διείσδυση μεγαλύτερη από 2500kPa. Τα στοιχεία της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους που σχετίζονται άμεσα με την υγρασία αυτού, παρουσιάζουν μια σημαντική αρνητική συσχέτιση με την αντίσταση στη διείσδυση.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

An Van den Puttea, Goversa J., Dielsa J., Gillijns K., Demuzerea M. 2010. Assessing the effect of soil tillage on crop growth: A meta-regression analysis on European crop yields under conservation agriculture. Europ. J. Agronomy 33, 231–241

ASABE Standards S313.2. 2008. Soil Cone penetrometer. American Society of Agricultural Engineers. St. Joseph Michigan.

Bennie, A. 1996. Growth and mechanical impedance. In Waisel, Y., Eshel, A. and Kafkafi, U. (editors), *Plant Roots, The Hidden Half*. 2nd edn. Marcel Decker, Inc. New York. pp. 453-470.

Castellanos-Navarrete A., Rodrıguez-Aragone C., de Goede R.G.M., Kooistra M.J., Sayre K.D., Brussaard L. and M.M. Pulleman. 2012. Earthworm activity and soil structural changes under conservation agriculture in central Mexico. Soil & Tillage Research 123, 61–70.

Chancellor W.J. 1977. Compaction of soil by agricultural equipment. *University of California. Division of Agricultural sciences.* Bulletin 1881.

Morgan, C.L.S., Norman, J.M., Wolkowski, R.P., Lowery, B., Morgan, G.D., Schuler, R., 2000. Two approaches to mapping plant available water: EM-38 measurements and inverse yield modeling. Proceedings of the 5th International Conference on Precision Agriculture (CD-ROM), Minneapolis, July 16–19, p.14.

Raper, R.L., Mac Kirby, J. 2006. Soil compaction: How to do it, undo it or avoid doing it. Agricultural Equipment Technology Conference, Loisville, Kentucky, USA, 12-14 Feb2006, Published by ASABE

Tarawally, M. A., Medina, H., Frómeta, M.E., Alberto Itza, C., 2004. Field compaction at different soil-water status: effects on pore size distribution and soil water characteristics of a Rhodic Ferralsol in Western Cuba. Soil Tillage Res. 76 (2), 95-103.

Καβαλάρης Χ., Χ. Καραμούτης και Θ.Α. Γέμτος, 2009. Επίδραση διαφορετικών καλλιεργητικών τεχνικών κατεργασίας, σποράς και ελέγχου ζιζανίων στην ζιζανίων στην καλλιέργεια του ηλίανθου. *Πρακτικά 6ου Εθνικού Συνεδρίου Γεωργικής Μηχανικής, Θεσ/νίκη 2009 σ 521-30*

Τσιάνος Ν., Γέμτος, Θ.Α., Καβαλάρης Χ. και Χ. Καραμούτης, 2007. Επίδραση μεθόδων κατεργασίας του εδάφους στην καλλιέργεια δυο ποικιλιών ηλίανθου στην κεντρική Ελλάδα. Πρακτικά 5ου Εθνικού Συνεδρίου Γεωργικής Μηχανικής, Λάρισα 2007.

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΟΝΗΣΕΩΝ ΣΤΟ ΘΑΛΑΜΟ ΧΕΙΡΙΣΜΟΥ ΤΩΝ ΕΛΚΥΣΤΗΡΩΝ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΓΕΩΡΓΙΚΩΝ ΕΡΓΑΛΕΙΩΝ

Θεόδωρος Γιαλαμάς[1], Ιωάννης Γράβαλος[1], Δημήτριος Κατέρης[2], Μαρία Γιαλαμά[3], Παναγιώτης Ξυραδάκης[1], Ασπασία Γιαλαμά[1], Χρήστος Δημητριάδης[4], Ζήσης Τσιρόπουλος[1]

[1]Εργαστήριο Ασφάλειας και Εργονομίας Μηχανημάτων. Τομέας Γεωργικής Μηχανολογίας, Τμήμα Μηχανικής Βιοσυστημάτων Σ.ΤΕ.Γ. Τ.Ε.Ι.Λάρισας.Τ.Κ.41110 Λάρισα, gialamas@teilar.gr

[2]Εργαστήριο Γ. Μηχανολογίας. Γεωπονική Σχολή. Α.Π.Θ. Τ.Κ.54124 Θεσσαλονίκη

[3]Ψυχολόγος της Υγείας MSc.

[4]ΑΤΕΙ Θεσσαλονίκης, Σχολή Σ.ΤΕ.Γ, Τμήμα Φυτικής Παραγωγής.Τ.Κ.57400

Το κάθε τμήμα ή όργανο του ανθρώπινου σώματος έχει μια περιοχή συχνοτήτων ιδιοσυντονισμού. Εάν ένα μέλος ή όργανο του σώματος υποστεί δονήσεις υψηλής στάθμης στις συχνότητες συντονισμού του, μπορεί να δημιουργηθούν πολύ δυσάρεστα συμπτώματα στην υγεία του. Όταν ο εργαζόμενος εκτελεί εργασία κρατώντας στα χέρια του, τους χειρομοχλούς διευθύνσεως, (τιμόνι), επιλογής ταχυτήτων, τροφοδοσίας του γεωργικού ελκυστήρα, ή ασχολείται με άλλες χειρονακτικές εργασίες και χρησιμοποιεί εργαλεία χειρός όπως είναι το αλυσοπρίονο, το ηλεκτρικό χειροδράπανο, ή άλλα παρόμοια κρουστικά εργαλεία, οι δονήσεις που παράγονται από τα εργαλεία αυτά μεταδίδονται στα δάχτυλά, στις παλάμες, στους βραχίονες και στους ώμους τους προκαλώντας επίσης δυσάρεστα συμπτώματα. Ο προσδιορισμός των επιταχύνσεων των μηχανικών δονήσεων στο θάλαμο χειρισμού των γεωργικών ελκυστήρων πραγματοποιήθηκε με πειραματικές δοκιμές με διαφορετικούς ελκυστήρες - εργαλεία και προσδιορίστηκε η επίδραση και η αλληλεπίδρασή τους στην ανάπτυξη των μηχανικών δονήσεων στο κάθισμα χειρισμού των ελκυστήρων. Τα αποτελέσματα της επίδρασης και της αλληλεπίδρασής των εξήχθησαν από τις τιμές των πειραματικών δοκιμών που πραγματοποιήθηκαν και αναλύθηκαν με το πρόγραμμα στατιστικής ανάλυσης SPSS, με τη μέθοδο GLM-ANOVA, για να καθοριστεί το μέγεθος των αλληλεπιδράσεων όλων των παραγόντων που προκαλούν δυσάρεστα συμπτώματα στους χειριστές.

Λέξεις κλειδιά: μηχανικές δονήσεις, αλληλεπίδραση δονήσεων, προβλήματα υγείας

THE EXPERIMENTAL DETERMINATION OF MECHANICAL VIBRATION TO THE TRACTOR CABIN FROM THE INTERACTION OF AGRICULTURAL TOOLS

Theodoros Gialamas[1], Ioannis Gravalos[1], Dimitrios Kateris[2], Maria Gialama[3], Panagiotis Xyradakis[1], Aspasia Gialama[1], Christos Dimitriadis[4], Zisis Tsiropoulos[1]

[1]Laboratory for Off-Road Equipment, Section of Agricultural Mechanics, Department of Biosystems Engineering, School of Agriculture, Technological Educational Institute of Larissa, GR-41110, Larissa, Greece, gialamas@teilar.gr

[2]Laboratory for Agricul.Engineering, Aristotle University of Thessaloniki, GR-54124, Greece

[3]Health Psychologist MSc.

[4]ATEI of Thessaloniki, School of Agricultural Technology, Department of plant production, GR-57400, Greece

Each part or organ of the human body has a self tuning frequency range. If the human body subjected to vibrations high level coordination of frequencies, can create very unpleasant symptoms in health. When a person performs work while keeping his hands on the steering wheel the gear shift and the throttle accelerator of a tractor or dealing with other manual jobs and uses hand tools such as a chainsaw, drilling machine or other similar tools, vibration shock produced by these tools spread on fingers, palms, arms and shoulders causing unpleasant symptoms. The determination of accelerations forces from mechanical vibrations into the cabin of agricultural tractors was investigated with experimental tests using different tractors – tools and speeds. The effect and their interaction of the investigated forces into the development of mechanical vibrations in the driving seat of the tractors were specified. The results from the experimental tests indicated the impact and the interaction of the collected values. The data was analyzed using the statistical program SPSS and the GLM-ANOVA method to determine the size and the interaction of all the factors.

Key words: mechanical vibration, vibration interaction, health problems

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα κύρια φυσικά χαρακτηριστικά των μηχανικών δονήσεων που μετρώνται κατά τη διάρκεια των πειραματικών δοκιμών είναι η ένταση τους σε m/s^2 και η συχνότητα τους σε Hz.

Σκοπός αυτής της εργασίας είναι να προσδιοριστούν, να καταγραφούν και να αναλυθούν σε πραγματικές συνθήκες τα μεγέθη των δονήσεων και των συχνοτήτων που αναπτύσσονται στο κάθισμα του χειριστή και προκαλούν την κόπωση του, κυρίως χαμηλά στη μέση, κατά τη διάρκεια προετοιμασίας της σπορόκλίνης με διαφορετικά παρελκόμενα εργαλεία.

Οι κύριες επιδράσεις των παραγόντων που εξετάζονται είναι: α) οι διαφορετικοί τύποι ελκυστήρων και β) τα διαφορετικά παρελκόμενα. Επίσης εξετάζεται και η αλληλεπίδραση που εμφανίζεται μεταξύ των "ελκυστήρων x εργαλείων".

Οι αναπτυσσόμενες δονήσεις δεν πρέπει να υπερβαίνουν κάποιες επιτρεπόμενες τιμές οι οποίες αναφέρονται στην προστασία των χειριστών και καθορίζονται με βάσει τις οδηγίες της Ε.Ε. (89/391/ΕΕC) και του ISO 2631/97 .

Τα μέτρα που αναφέρονται στην προστασία των χειριστών από τις μηχανικές δονήσεις είναι η τοποθέτηση στους σύγχρονους ελκυστήρες θαλάμων ασφαλείας οι οποίοι να εδράζονται σε υδραυλικούς αποσβεστήρες κραδασμών. Η θέση τοποθέτησης του καθίσματος, θα πρέπει να έχει τη δυνατότητα απόσβεσης των δονήσεων, αλλά και η κατάσταση του καθίσματος θα πρέπει να είναι τέτοια ώστε να προστατεύει τον χειριστή κατά τη διάρκεια της εργασίας του. Σημαντικό παράγοντα αποτελεί ο τρόπος σύνδεσης των παρελκομένων γεωργικών μηχανημάτων με τον ελκυστήρα, γιατί η αλληλεπίδραση τους επηρεάζει σημαντικά τις εντάσεις των αναπτυσσομένων δονήσεων. Επίσης άλλοι σημαντικοί παράγοντες που εμφανίζονται και επιδρούν σημαντικά στην κόπωση του χειριστή είναι η ταχύτητα κίνησης κατά τη διάρκεια της εργασίας, η κατάσταση του εδάφους καθώς και η στάση που κάθεται ο χειριστής (Marsili et al., 2002).

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Ο πειραματικός προσδιορισμός των ολόσωμων δονήσεων στα κάθισμα του χειριστή των γεωργικών ελκυστήρων, πραγματοποιήθηκε με τους ελκυστήρες του Τμήματος Μηχανικής Βιοσυστημάτων του Τ.Ε.Ι./Λάρισας, από το Εργαστήριο Ασφάλειας και Εργονομίας Μηχανημάτων. Οι δοκιμές πραγματοποιήθηκαν στο αγρόκτημα του Τ.Ε.Ι. Λάρισας (Γιαλαμάς κ.α., 2007,2009a,2009b).

Το έδαφος που πραγματοποιήθηκαν οι δοκιμές ήταν ακαλλιέργητο με καλαμιές, είχε σχετική υγρασία 25% επί υγρής βάσης, η οποία διατηρήθηκε σταθερή για όλη τη διάρκεια των δοκιμών. Η μηχανική σύσταση του ήταν αμμοαργιλλωπηλώδες (SCL), και η θερμοκρασία του περιβάλλοντος ήταν 22°C.

Για τις πειραματικές δοκιμές χρησιμοποιήθηκαν τρεις διαφορετικοί τύποι ελκυστήρων:

α) ο LAMBORGHINI R6 130, ισχύος 99kW που διαθέτει: υδραυλική ανάρτηση θαλάμου, ηλεκτρονικό ρυθμιστή στροφών, σύστημα μετάδοσης της κίνησης στους τέσσερις τροχούς (4WD), με ηλεκτρονικό έλεγχο υδραυλικού συστήματος. Διαθέτει επίσης αυτόματη επιλογή στο σύστημα μετάδοσης της κίνησης με δυνατότητες χαμηλής - μεσαίας – υψηλής σχέσης, υδροστατικό σύστημα διεύθυνσης και δυνατότητα υδροπνευματικής ρύθμισης του καθίσματος.

β) ο δεύτερος ελκυστήρας ήταν ο HURLIMANN H6115 είναι ισχύος 85 kW, διαθέτει μηχανικό σύστημα ρύθμισης του εύρους των δονήσεων του καθίσματος διαθέτει σύστημα μετάδοσης της κίνησης στους τέσσερις τροχούς (4WD), εμπρόσθιο σύστημα ανάρτησης παρελκομένων και εμπρόσθιο δυναμοδότη.

γ) ο τρίτος ελκυστήρας ήταν ο LAMBORGHINI Premium 950, είναι ισχύος 70 kW, διαθέτει μηχανικό σύστημα ρύθμισης του εύρους των δονήσεων του καθίσματος υδροστατική οδήγηση και κίνηση στους 4τροχούς (4WD).

Κατά τη διάρκεια των δοκιμών διατηρήθηκε η ίδια αναπτυσσόμενη ταχύτητα, η οποία καθορίστηκε στα 5,5 – 6,0 km/h. Το έδαφος περιείχε καλαμιές σιτηρών από την προηγούμενη καλλιεργητική περίοδο. Χχρησιμοποιήθηκαν τρία γεωργικά εργαλεία για την προετοιμασία της σποροκλίνης:

α) Άροτρο 3υνο, αναστρεφόμενο με υδραυλική αναστροφή και δυνατότητα ρύθμισης του μέγιστου πλάτους άροσης στα 150 cm. Το βάθος άροσης ρυθμίστηκε στα 20 cm. β) Δισκοσβάρνα, δευτερογενούς κατεργασίας του εδάφους με πλάτος εργασίας 3,20 m, αριθμό δίσκων 33, η διάμετρο δίσκων 50 cm και βάθος εργασίας 11,0 cm και γ) Καλλιεργητής αναρτώμενος τελευταίας προετοιμασίας με εύκαμπτα ελατηριωτά υνάκια. Οι διαστάσεις του είναι πλάτος 3,0 m και μήκος 1,3 m. Στο κάτω μέρος του πλαισίου συνδέονται πέντε σειρές με δώδεκα (12) ελατηριωτά εύκαμπτα υνάκια η κάθε μία, με δυνατότητα ρύθμισης της μεταξύ τους απόστασης. Στο πίσω μέρος του πλαισίου φέρει δύο σειρές από ρυθμιζόμενους περιστρεφόμενους κλωβούς εδάφους, (σβωλοκόπους), με τρείς κυλίνδρους η κάθε σειρά. Στην περιφέρεια τους φέρουν μεταλλικά ελάσματα με ελικοειδή μορφή, η οποία κατά τη διάρκεια της εργασίας συμβάλλει στον καλλίτερο θρυμματισμό του εδάφους.

Η μελέτη αφορά τις ολόσωμες δονήσεις που δημιουργούνται κατά τη διάρκεια όλων των καλλιεργητικών εργασιών που πραγματοποιούνται με τα παραπάνω γεωργικά εργαλεία στο κάθισμα του χειριστή οι οποίες προκαλούν κόπωση και επηρεάζουν την υγεία του. Οι δονήσεις καταγράφονται με τη βοήθεια ηλεκτρονικής καταγραφικής μονάδας τύπου VIBROTEST 60 της εταιρείας Bruel & Kjaer Vibro. Η ίδια ηλεκτρονική μονάδα διαθέτει και τους αισθητήρες οι οποίοι προσαρμόζονται με τη βοήθεια μαγνητών κάτω από το κάθισμα του χειριστή.

Οι αισθητήρες λαμβάνουν τα σήματα από όλα τα μεγέθη των δονήσεων κατά τη διάρκεια των δοκιμών. Καταγράφεται το εύρος των δονήσεων, καθώς και η συχνότητα που αντιστοιχεί σε κάθε εύρος. Η συσκευή ρυθμίστηκε να καταγράφει σε κάθε δοκιμή της διαδρομή των 250μ, 1600 τιμές των επιταχύνσεων των δονήσεων m/s^2 και των συχνοτήτων με κλίμακα συχνοτήτων σε Hz από 0 – 100 Hz / 0,3125 Hz. Πραγματοποιήθηκαν 25 διαφορετικές δοκιμές και για κάθε δοκιμή έγιναν τρεις επαναλήψεις. Από τις παραπάνω μετρήσεις προσδιορίστηκε ο μέσος όρος και για κάθε κατεύθυνση των δονήσεων X,Y,Z ελήφθη η μέγιστη τιμή των μέσων όρων. Οι τιμές μεταφέρονται σε Η/Υ και με ειδικό πρόγραμμα δημιουργούνται τα διαγράμματα με συντεταγμένες το εύρος της επιτάχυνσης της δόνησης σε m/s^2 και τη συχνότητα

που εμφανίζεται σε κάθε τιμή της επιτάχυνσης σε Hz.

Οι αισθητήρες τοποθετήθηκαν στο ίδιο σημείο του καθίσματος, ώστε να υπάρχει καλλίτερη απεικόνιση και απόδοση των δονήσεων που καταπονούν το χειριστή.

Τα διεθνή πρότυπα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν το ISO 2631-1/1997, ISO 10326-2/2001, ISO 8041/2005 με τα οποία καθορίζουν τα επιτρεπόμενα όρια της Ημερήσιας Έκθεσης σε Δονήσεις ή A(8), που αντιστοιχούν σε επιτάχυνση δόνησης 0,5 m/s² και η Τιμή της Δόσης Δόνησης ή (VDV), η οποία είναι 9,1 m/s^{1,75}.

Οι οριακές τιμές για την ανάληψη δράσης για την Ημερήσια Έκθεση Δόνησης A(8), είναι 1,15 m/s² και η Τιμή της Δόσης Δόνησης (VDV), είναι 21 m/s^{1,75}.

Η έκθεση του χειριστή σε ολόσωμες δονήσεις μεγαλύτερες από τα παραπάνω επιτρεπόμενα όρια μπορεί να παρουσιάσουν κινδύνους για την υγεία και μείωση της δυνατότητας χειρισμών των ελκυστήρων (Pope et al., 1998, Troup, 1984, Wikström,1993). Συνήθως αναφέρεται ότι προκαλούν ή επιδεινώνουν τον τραυματισμό στη μέση και την πλάτη.

Οι κίνδυνοι είναι μέγιστοι όταν οι επιταχύνσεις είναι υψηλές και μεγάλη η διάρκεια που εκτίθεται ο χειριστής. Σημαντικά συμβάλλει η συχνότητα στην οποία εμφανίζονται οι μέγιστες επιταχύνσεις, γιατί προκαλούν συντονισμούς με διάφορα όργανα του σώματος.

Οι μέγιστες τιμές των δονήσεων που αναλύονται αναφέρονται στους τρεις άξονες X,Y,Z, όπου: X: οι δονήσεις που αναπτύσσονται στον οριζόντιο διαμήκη άξονα κατά τη διεύθυνση κίνησης του ελκυστήρα. Y: οι δονήσεις που αναπτύσσονται στον οριζόντιο εγκάρσιο άξονα κατά τη διεύθυνση κίνησης του ελκυστήρα και Z: οι δονήσεις που αναπτύσσονται στον κατακόρυφο άξονα κατά τη διεύθυνση κίνησης του ελκυστήρα.

3. ΔΟΚΙΜΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

Από τις πειραματικές δοκιμές των δονήσεων που πραγματοποιήθηκαν και με βάση τις μέγιστες τιμές που ελήφθησαν στις τρεις διευθύνσεις X_{max}, Y_{max}, Z_{max}, προκύπτουν οι παρακάτω στατιστικές αναλύσεις:

3.1. Ανάλυση διακύμανσης για τη μεταβλητή στην οριζόντια διαμήκη διεύθυνση X_{max}

Στον πίνακα. 3.1 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των επιδράσεων των πειραματικών συνθηκών, για τις μέγιστες τιμές των μέσων όρων, της μεταβλητής στην οριζόντια διαμήκη διεύθυνση Xmax.

Η ανάλυση του γραμμικού υποδείγματος δίνει τη δυνατότητα ελέγχου της σημαντικότητας των κυρίων επιδράσεων και αλληλεπιδράσεων των πειραματικών συνθηκών στη μεταβλητή Xmax.

Η προσαρμογή των δεδομένων στο αντίστοιχο γραμμικό υπόδειγμα είναι ικανοποιητική, λόγω της υψηλής τιμής του συντελεστή προσδιορισμού R^2 = 0,698.

Πίνακας 3.1. Πίνακας ANOVA για τη μεταβλητή Xmax.

ΠΗΓΕΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΤΗΤΑΣ	**ΑΤ**	**β.ε.**	**ΜΤ**	**F**	**P**	**η^2**
ΕΛΚΥΣΤΗΡΕΣ	0,075	2	0,038	8,190	< 0,001	0,339
ΕΡΓΑΛΕΙΑ	0,107	2	0,054	11,638	< 0,001	0,421
ΕΛΚΥΣΤΗΡΕΣ x ΕΡΓΑΛΕΙΑ	0,027	3	0,009	1,934	0,144	0,154
Σφάλμα	0,147	32	0,005			
Ολική	0,487	47				

R^2=0,698, R^2_{ads}=0,557, για p ≤ 0,05 προκύπτει στατιστικά σημαντικό αποτέλεσμα

Από τον Πίνακα 3.1 διαπιστώνονται τα παρακάτω:

α) Ο παράγοντας "ελκυστήρες" έχει στατιστικά σημαντική επίδραση στη μεταβλητή X_{max}, (F(2,32) =8,190, p<0,001, η^2=0,339),

β) Ο παράγοντας "εργαλεία" έχει στατιστικά σημαντική επίδραση στη μεταβλητή X_{max}, (F(2,32) =11,638, p<0,001, η^2=0,421),

γ) Η αλληλεπίδραση 1^{ου} βαθμού των παραγόντων "ελκυστήρες x εργαλεία" δεν ήταν στατιστικά σημαντική στη μεταβλητή X_{max}, F(3,32) = 1,934, p=0,144, η^2= 0,154),

Από τα παραπάνω (με βάση τις τιμές του συντελεστή η^2) προκύπτει ότι τη μεγαλύτερη στατιστικά σημαντική επίδραση στη μεταβλητή X_{max}, παρουσιάζει ο παράγοντας "εργαλεία" και ακολουθεί ο παράγοντας "ελκυστήρες". Αυτό πως συνδέεται με το κάθε ελκυστήρα ή εργαλείο;;

3.2. Ανάλυση διακύμανσης για τη μεταβλητή στην οριζόντια εγκάρσια διεύθυνση Y_{max}

Στον πίνακα 3.2 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των επιδράσεων των πειραματικών συνθηκών, για τις μέγιστες τιμές των μέσων όρων, της μεταβλητής στην οριζόντια εγκάρσια διεύθυνση Y_{max}. Η προσαρμογή των δεδομένων στο αντίστοιχο γραμμικό υπόδειγμα είναι ικανοποιητική, λόγω της υψηλής τιμής του συντελεστή προσδιορισμού R^2 = 0,732.

Πίνακας 3.2. Πίνακας ANOVA για τη μεταβλητή Y_{max}

ΠΗΓΕΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΤΗΤΑΣ	**ΑΤ**	**β.ε.**	**ΜΤ**	**F**	**p**	**η^2**
ΕΛΚΥΣΤΗΡΕΣ	0,167	2	0,084	14,096	< 0,001	0,468
ΕΡΓΑΛΕΙΑ	0,082	2	0,041	6,892	0,003	0,301
ΕΛΚΥΣΤΗΡΕΣ x ΕΡΓΑΛΕΙΑ	0,079	3	0,026	4,421	0,010	0,293
Σφάλμα	0,190	32	0,006			
Ολική	0,708	47				

R^2=0,732, R^2_{ads}=0,606, για p ≤ 0,05 προκύπτει στατιστικά σημαντικό αποτέλεσμα.

Από τον Πίνακα 3.2 διαπιστώνονται τα παρακάτω:

α) Ο παράγοντας "ελκυστήρες" έχει στατιστικά σημαντική επίδραση στη μεταβλητή Y_{max}, (F(2,32) =14,096, p<0,001, η^2=0,468),

β) Ο παράγοντας "εργαλεία" έχει στατιστικά σημαντική επίδραση στη μεταβλητή Y_{max}, (F(2,32) =6,892, p=0,003, η^2=0,301),

γ) Η αλληλεπίδραση 1ου βαθμού των παραγόντων "ελκυστήρες x εργαλεία" ήταν στατιστικά σημαντική στη μεταβλητή Y_{max}, F(3,32)=4,421, p=0,010, η^2= 0,293),

Από τα παραπάνω (με βάση τις τιμές του συντελεστή η^2) φαίνεται ότι τη μεγαλύτερη στατιστικά σημαντική επίδραση στη μεταβλητή Y_{max}, παρουσιάζει ο παράγοντας "ελκυστήρες" και ακολουθεί ο παράγοντας "εργαλεία".

3.3. Ανάλυση διακύμανσης για τη μεταβλητή στην κατακόρυφη διεύθυνση Z_{max}.

Στον πίνακα 3.3 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των επιδράσεων των πειραματικών συνθηκών, για τις μέγιστες τιμές των μέσων όρων, της μεταβλητής στην κατακόρυφη διεύθυνση Z_{max}.

Η προσαρμογή των δεδομένων στο αντίστοιχο γραμμικό υπόδειγμα είναι ικανοποιητική, λόγω της υψηλής τιμής του συντελεστή προσδιορισμού R^2 = 0,825.

Πίνακας 3.3. Πίνακας ANOVA για τη μεταβλητή Z_{max}.

ΠΗΓΕΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΤΗΤΑΣ	**ΑΤ**	**β.ε**	**ΜΤ**	**F**	**p**	**η^2**
ΕΛΚΥΣΤΗΡΕΣ	0,077	2	0,039	3,297	0,050	0,171
ΕΡΓΑΛΕΙΑ	1,039	2	0,519	44,383	< 0,001	0,735
ΕΛΚΥΣΤΗΡΕΣ x ΕΡΓΑΛΕΙΑ	0,096	3	0,032	2,741	0,059	0,204
Σφάλμα	0,375	32	0,012			
Ολική	2,142	47				

R^2 = 0,825, R^2_{ads} = 0,743, για p ≤ 0,05 προκύπτει στατιστικά σημαντικό αποτέλεσμα

Από τον Πίνακα 3.3 διαπιστώνονται τα παρακάτω:

α) Ο παράγοντας "ελκυστήρες" έχει στατιστικά σημαντική επίδραση στη μεταβλητή Zmax $f(X_{max})$, (F(2,32) =3,297, p = 0,050, η^2 = 0,171),

β) Ο παράγοντας "εργαλεία" έχει στατιστικά σημαντική επίδραση στη μεταβλητή Z_{max} $f(X_{max})$, (F(2,32) = 44,383, p<0,001, η^2 = 0,735),

γ) Η αλληλεπίδραση 1ου βαθμού των παραγόντων "ελκυστήρες x εργαλεία" δεν ήταν στατιστικά σημαντική στη μεταβλητή Z_{max} $f(X_{max})$,
F (3,32) = 2,741, p = 0,059, η^2 = 0,204),

Από τα παραπάνω (με βάση τις τιμές του συντελεστή η^2) φαίνεται ότι τη μεγαλύτερη στατιστικά σημαντική επίδραση στη μεταβλητή Z_{max} $f(X_{max})$, παρουσιάζει ο παράγοντας "εργαλεία" και ακολουθεί ο παράγοντας "ελκυστήρες".

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τον Πίνακα 3.1 προκύπτει ότι τη μεγαλύτερη στατιστικά σημαντική επίδραση στη μεταβλητή X_{max}, με βάση τις τιμές του συντελεστή η^2 παρουσιάζει ο παράγοντας "εργαλεία" και ακολουθεί ο παράγοντας "ελκυστήρες".

Από τον Πίνακα 3.2 προκύπτει ότι τη μεγαλύτερη στατιστικά σημαντική επίδραση στη μεταβλητή Y_{max}, με βάση τις τιμές του συντελεστή η^2 παρουσιάζει ο παράγοντας "ελκυστήρες" και ακολουθεί ο παράγοντας "εργαλεία".

Από τον Πίνακα 3.3 προκύπτει ότι τη μεγαλύτερη στατιστικά σημαντική επίδραση στη μεταβλητή Z_{max}, παρουσιάζει ο παράγοντας "εργαλεία" και ακολουθεί ο παράγοντας "ελκυστήρες".

5. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

1. Για την προετοιμασία της σποροκλίνης θα πρέπει να χρησιμοποιούνται ελκυστήρες οι οποίοι να διαθέτουν σύστημα ανάρτησης του θαλάμου και του καθίσματος του χειριστή με δυνατότητα ρύθμισης του εύρους της δόνησης.

2. Η θέση του χειριστή θα πρέπει να έχει τη δυνατότητα περιορισμένης περιστροφικής κίνησης εργονομικά σχεδιασμένη ώστε να υπάρχει άμεσος έλεγχος για όλους τους χειρισμούς των μηχανημάτων με όσο το δυνατό λιγότερες κινήσεις του σώματος και του λαιμού ώστε να επιτυγχάνεται μικρότερη κόπωση.

3. Ο παράγοντας ΄΄εργαλεία΄΄ παρουσιάζει τον πρώτο σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη των δονήσεων στις κατευθύνσεις των μεταβλητών Xmax, Zmax, στο θάλαμο χειρισμού των ελκυστήρων και ακολουθεί ο παράγοντας ΄΄ελκυστήρες΄΄.

4. Θα πρέπει να υπάρχει η κατάλληλη εκλογή του κάθε γεωργικού εργαλείου η οποία θα πρέπει να συνδυαστεί με το συγκεκριμένο ελκυστήρα ώστε να υπάρχει δυνατότητα του «ιδανικού» συνδυασμού ώστε να μη δημιουργούνται πλάγιες δυνάμεις κατά τη διάρκεια εργασίας.

5. Θα πρέπει να αποφεύγονται οι πλάγιες αλλά και οι κατακόρυφες αναπτυσσόμενες δυνάμεις οι οποίες προέρχονται από τη μη «ιδανική» ζεύξη γεωργικού εργαλείου και γεωργικού ελκυστήρα ή από την κατασκευαστική δομή του μηχανήματος.

6. Ο παράγοντας ΄΄ελκυστήρες΄΄ παρουσιάζει τον πρώτο σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη των δονήσεων στην κατεύθυνση της μεταβλητής Ymax, στο θάλαμο χειρισμού των ελκυστήρων και ακολουθεί ο παράγοντας ΄΄εργαλεία΄΄.

7. Θα πρέπει σε όλους τους σύγχρονους ελκυστήρες να υπάρχουν συστήματα απόσβεσης των κραδασμών ώστε να αποφεύγονται ή ακόμη και να μειώνονται οι δονήσεις στο κάθισμα του χειριστή για να μη μεταφέρονται στο σώμα του.

8. Οι κατασκευαστές των γεωργικών εργαλείων κυρίως αναρτώμενων θα πρέπει να προβλέπουν στην κατασκευαστική τους δομή στοιχεία τα οποία να έχουν τη δυνατότητα απόσβεσης των δονήσεων ώστε να μη μεταφέρονται στο κάθισμα του χειριστή και επιβαρύνουν την κόπωση των χειριστών.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Γιαλαμάς, Θ., Γράβαλος, Ι., Κατέρης, Δ., Ξυραδάκης, Π., Τσατσαρέλης, Κ., Γέμτος. Θ., (2007). Πειραματικός προσδιορισμός των δονήσεων στο θάλαμο χειρισμού των γεωργικών ελκυστήρων. Πρακτικά 5ου Πανελληνίου συνεδρίου Γεωργικής Μηχανικής, Εταιρεία Γεωργικών Μηχανικών Ελλάδος, Λάρισα: 79-86.

Γιαλαμάς, Θ., Γράβαλος, Ι., Κατέρης, Δ., Ξυραδάκης, Π., Τσιρόπουλος, Ζ., Τσατσαρέλης, Κ., Μόσχου, Δ., Γέμτος, Θ., (2009a). Δονήσεις στο κάθισμα του χειριστή κατά τη διάρκεια άροσης με διαφορετικούς ελκυστήρες. Πρακτικά 6ου Πανελληνίου συνεδρίου Γεωργικής Μηχανικής, Εταιρεία Γεωργικών Μηχανικών Ελλάδος, 8-10 Οκτωβρίου, Θεσσαλονίκη.

Γιαλαμάς, Θ., Κατέρης, Δ., Γράβαλος, Ι., Ξυραδάκης, Π., Τσιρόπουλος, Ζ., Δημητριάδης, Ζ., Τσατσαρέλης, Κ., Γέμτος, Θ., (2009b). Δονήσεις στο κάθισμα του χειριστή σε κατεργασία εδάφους με δισκοσβάρνα. Πρακτικά 6ου Πανελληνίου συνεδρίου Γεωργικής Μηχανικής, Εταιρεία Γεωργικών Μηχανικών Ελλάδος, 8-10 Οκτωβρίου, Θεσσαλονίκη.

ISO 2631-1 (1997). Mechanical variation and shock – Evaluation of human exposure to whole-body vibration. Part I: general requirements, International Organization for Standardization, Geneva.

ISO 10326-2 (2001). Mechanical vibration -- Laboratory method for evaluating vehicle seat vibration -- Part 2: Application to railway vehicles, International Organization for Standardization, Geneva.

ISO 8041 (2005). Human response to vibration -- Measuring instrumentation,International Organization for Standardization, Geneva.

Marsili, A., Ragni, L., Santoro, G., Servadio, P., Vassalini, G., (2002). Innovative Systems to reduce Vibrations on Agricultural Tractors. Comparative Analysis of acceleration transmitted through the driving Seat. Bios. Eng., Silsoe Research Institute, 81 (1): 35- 47.

Pope, M.H., Magnusson, M.; Wilder, D. (1998). Low Back Pain and Whole Body Vibration, Clinical Orthopaedics & Related Research, 354, 241-248.

Troup, JDG. (1984). Causes, prediction and prevention of back pain at work, Scandinavian Journal of Work, Environment & Health, Vol. 10, No. 6, Proceedings of the International symposium of research on work-related diseases: Espoo, Finland, 4—8 June 1984 (December 1984), 419-428.

Wikström, Bengt-O. (1993). Effects from twisted postures and whole-body vibration during driving, International Journal of Industrial Ergonomics, 12 (1–2): 61–75.

ΣΥΜΒΟΛΗ ΚΟΣΤΟΥΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΚΑΙ ΕΠΙΣΚΕΥΩΝ ΣΤΟ ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΛΕΙΤΟΥΓΙΑΣ ΤΟΥ ΓΕΩΡΓΙΚΟΥ ΕΛΚΥΣΤΗΡΑ

Δ. Β. Αναγνωστόπουλος[1] , Σπ. Φουντάς[1], Χρ. Καβαλάρης[1], Θ.Α. Γέμτος[1]
Παν. Θεσσαλίας, Τμήμα Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, Οδός Φυτόκου, 38446 Ν. Ιωνία. Email: dvanagnosto@yahoo.gr

Η μη ορθολογική διαχείριση του γεωργικού εξοπλισμού διαμορφώνει υψηλό κόστος λειτουργίας και κατ' επέκταση συμβάλει στο κόστος παραγωγής. Στην παρούσα εργασία αναλύονται οι σταθερές και οι μεταβλητές δαπάνες του γεωργικού ελκυστήρα αλλά δίνεται έμφαση στο κόστος συντήρησης και επισκευών (Σ&Ε). Τα αποτελέσματα προέκυψαν από τριετή έρευνα πεδίου με χρήση ερωτηματολογίου που πραγματοποιήθηκε στον Ελλαδικό χώρο. Από το σύνολο των 448 εκμεταλλεύσεων προέκυψε στόλος 509 γεωργικών ελκυστήρων με συγκεκριμένο κόστος Σ&Ε, καθορισμένες ετήσιες ώρες λειτουργίας και έτη χρήσης και συγκεκριμένη ισχύς προς μελέτη. Ο στόλος παρουσίασε ωριαίο κόστος Σ&Ε 3,05 €. Επίσης, προέκυψε ωριαίο κόστος λειτουργίας από 29,83 ως 45,12 € ανάλογα με το φορτίο λειτουργίας. Το σύνολο των μεταβλητών δαπανών αποτελεί το 82-88% του συνολικού κόστους ενώ οι σταθερές το 12-18%. Αντίστοιχα το κόστος Σ&Ε αποτελεί το 7-10% του συνολικού κόστους ενώ ενδιαφέρον παρουσιάζει η συμβολή του κόστους καυσίμων και λιπαντικών (55-71%). Οι γεωργικοί ελκυστήρες παρουσιάζουν δύο δεκαπενταετίες λειτουργίας. Στην πρώτη χαρακτηρίζονται από εντατική χρήση και έτσι το ωριαίο κόστος Σ&Ε διαρκώς αυξάνεται και στην δεύτερη όπου μειώνεται η ετήσια χρήση έχοντας ανάλογη μείωση του ωριαίου ή του ετήσιου κόστους Σ&Ε. Το ωριαίο κόστος Σ&Ε παρουσιαζόταν ιδιαίτερα υψηλό σε περιορισμένες ώρες λειτουργίας του γεωργικού ελκυστήρα ενώ αυξανόταν στατιστικά σημαντικά με την αύξηση της ισχύος. Τέλος, το ετήσιο κόστος Σ&Ε αυξάνει εκθετικά με τις συνολικές ώρες λειτουργίας του ελκυστήρα. Συμπερασματικά μπορούμε να πούμε ότι διαμορφώνεται υψηλό κόστος Σ&Ε λόγω της χαμηλής ετήσιας χρήσης, της παλαιότητας του στόλου αλλά και προφανώς μη συνεπούς προγράμματος συντήρησης.

Λέξεις-κλειδιά: Κόστος, συντήρηση, επισκευές, γεωργικός ελκυστήρας, διαχείριση γεωργικού εξοπλισμού

THE EFFECTS OF REPAIR AND MAINTENANCE COST ON THE TOTAL FUNCTION COST OF USE OF A TRACTOR

D.V. Anagnostopoulos[1], Sp. Fountas[1], Kavalaris Ch., T.A. Gemtos[1]
[1]University of Thessaly, Department of Crop Production and Rural Environment, Fytoko street, 38446 N. Ionia. Email: dvanagnosto@yahoo.gr

The incorrect usage of farming machinery results in high function cost and –consequently- high production cost. In this research both steady and variable expenses of the tractor are analyzed while emphasis is given on the mending and maintenance cost. The results have been produced throughout a three-year field research, using questionnaires, in Greece. Out of the 448 fields in total, a workforce of 509 tractors with specified maintenance and mending cost, working hours and power was emerged. It was found that the average maintenance and mending cost per hour for the 509 tractors is 3,05 €. In addition, it emerged that the function cost per hour is 29,83-45,12 €. The variable expenses account for the 82-88% of the total cost while the steady expenses represent 12-18%. Proportionally, the total cost for maintenance and mending accounts for 7-10% of the total cost. An interesting figure found is the fuel and lubricant cost (55-71%). The tractor includes two 15-year old functions: during the first one, extended usage is observed and that results in a gradually increasing mending and maintenance cost. During the second period of usage, the annual usage is reduced and as a result the maintenance and mending cost are reduced as well. Besides, it was found that the maintenance cost per hour was reduced alongside with the increase of the annual usage whereas it was increased with the tractor power. Moreover, the annual cost of maintenance and mending is increased in proportion with the total hours of tractor usage. To sum up, we could indicate that a high cost of maintenance is produced because of the few hours of usage, the oldness of the workforce and –of course- because of inconsistent maintenance schedule.

Keywords: cost, maintenance, mending, tractor, farming machinery management

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στην Ελλάδα η ηλικία των γεωργικών ελκυστήρων σύμφωνα με τους Βεντούρης και Τσακανίκας (2011) είναι περίπου 22 έτη. Οι ώρες λειτουργίες κρίνονται χαμηλές καθώς σύμφωνα με τους Τσατσαρέλη (2006) και Γέμτο κ.α. (1998) είναι περίπου 420 και 356 (χωρίς άρδευση) αντίστοιχα ενώ η ιδανική ετήσια χρήση για ελκυστήρα με κίνηση τους τέσσερεις τροχούς είναι 1066 ώρες. Οι Βεντούρης και Τσακανίκας (2011) παρουσιάζουν μέση ισχύ στόλου 77 hp. Το ετήσιο κόστος Σ&Ε που διαμορφώνεται σύμφωνα με έρευνα πεδίου που έχει γίνει είναι 1430 € (Αναγνωστόπουλος κ.α., 2011). Οι Bukhari et al. (1988) αναφέρουν ότι το κόστος επισκευών ενδέχεται να πέσει ως και 25% με σωστή και έγκυρη συντήρηση του γεωργικού ελκυστήρα. Στο σημείο αυτό για παράδειγμα να αναφερθεί ότι οι Γέμτος κ.α. (2001) προτείνουν αλλαγή λαδιών

μηχανής κάθε 100 ώρες. Οι Fairbanks et al. (1971) αναφέρουν ότι περίπου το 8% του συνολικού κόστους του ελκυστήρα προέρχεται από τις επισκευές. Πλήθος αναφορών έχουν καταλήξει στο συμπέρασμα ότι το κόστος Σ&Ε αυξάνεται με την ηλικία του ελκυστήρα ή με την αύξηση των συνολικών ωρών λειτουργίας του και κυρίως με υπερβολική συνάρτηση (Khobakhshian and Shakeri, 2011, Rotz, 1987, Ward et al., 1985, Bowers and Hunt, 1970). Μάλιστα ο Morris (1988) αναφέρει ότι σε 10.000 ώρες το κόστος Σ&Ε ενδέχεται να φτάσει ως και το 80% της αξίας του ελκυστήρα ενώ η ASABE (1988) αναφέρει ότι είναι στο 120% της αρχικής αξίας σε ελκυστήρες με κίνηση σε δύο κινητήριους τροχούς και 100% της αρχικής αξίας για ελκυστήρες με τέσσερεις κινητήριους τροχούς για 10.000 ώρες λειτουργίας. Ωστόσο, σε νεότερες εκδόσεις η ASABE αναφέρει ότι στις 16000 ώρες λειτουργίας ο ελκυστήρας με διπλό διαφορικό το κόστος φτάνει στο 80% της αρχικής αξίας του ενώ οι υπόλοιποι γεωργικοί ελκυστήρες στις 12.000 ώρες παρουσιάζουν κόστος ίσο με το 100%. Παρόμοια ο Culpin (1975) αναφέρει ότι ανά 1500 ώρες λειτουργίας του ελκυστήρα παρατηρείται αύξηση 10-15%. Οι Niari et al. (2012) και οι Rasidi and Ranjbar (2011) επιβεβαιώνουν την υπερβολική σχέση ωρών λειτουργίας και κόστους Σ&Ε ως τις 2275-2760 ώρες λειτουργίας του γεωργικού ελκυστήρα ενώ έπειτα αναφέρουν ότι το συγκεκριμένο κόστος εκφράζεται καλύτερα με πολυωνυμική συνάρτηση. Οι AL-Suhaibani and Wahdy (1999) προσθέτουν ότι το κόστος αυξάνεται με την αύξηση της ισχύος. Στην περίπτωση του Hunt (1995) παρατηρήθηκε ότι το ωριαίο κόστος Σ&Ε αυξάνει ως τις 2000 ώρες λειτουργίας, ακολουθεί το πρώτο ολοκληρωμένο σέρβις του μηχανήματος και έπειτα παρατηρείται αυξημένο κόστος ως τις 5000 ώρες ενώ εν τέλει ακολουθεί μείωση τους κόστους Σ&Ε λόγω πιθανών σταδιακής μειωμένης χρήσης. Ακόμα οι Khobakhshian and Shakeri (2011) και Olt and Traat (2011) παρατήρησαν ότι το κόστος Σ&Ε διαφέρει από τον κατασκευαστή, την χρήση του μηχανήματος ενώ εξαρτάται σύμφωνα με αναφορές των Singh et al. (2000) και Ahmed et al. (1999) και από την εμπειρία του χειριστή. Σε πρόσφατη έρευνα των Punman et al. (2012) τονίζεται ότι ο τρόπος εκτέλεσης Σ&Ε και από ποιόν παρέχεται είναι καθοριστικοί παράγοντες για την διαμόρφωση του κόστους. Σε αρκετά μοντέλα εκτίμησης του κόστους Σ&Ε παρατηρούνται διαφορές οι οποίες οφείλονται αποκλειστικά στην περιοχή μελέτης και έτσι θεωρείται αναγκαιότητα η κάθε χώρα ή περιοχή να αναπτύξει τα δικά της μοντέλα συσχέτισης κόστους Σ&Ε με τις ώρες ή τα έτη λειτουργίας (Eraghi et al., 2006 και Ahmed et al, 1999).

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Στην παρούσα εργασία αναλύονται οι σταθερές και οι μεταβλητές δαπάνες του γεωργικού ελκυστήρα αλλά δίνεται έμφαση στο κόστος Σ&Ε. Τα αποτελέσματα προέκυψαν από τριετή έρευνα πεδίου με χρήση ερωτηματολογίου που πραγματοποιήθηκε στο Ελλαδικό χώρο. Για το σκοπό αυτό συντάχθηκαν ερωτηματολόγια 38 ερωτήσεων και με την διαδικασία της προσωπικής συνέντευξης ρωτήθηκαν 448 παραγωγοί. Συγκεκριμένα ερωτήσεις που αφορούσαν την δομή του γεωργικού εξοπλισμού όπως η ηλικία και η ισχύς του στόλου και ερωτήσεις που σχετίζονται με την διαχείριση του γεωργικού εξοπλισμού όπως οι ώρες λειτουργίας του, το κόστος Σ&Ε καθώς και ο τρόπος εκτέλεσης Σ&Ε. Έτσι από το σύνολο των 448 εκμεταλλεύσεων προέκυψε ένας στόλος 509 γεωργικών ελκυστήρων. Η μελέτη κόστους λειτουργίας διακρίθηκε στον υπολογισμό των σταθερών και των μεταβλητών δαπανών. Για τις σταθερές δαπάνες υπολογίστηκε η σταθερή απόσβεση του μηχανήματος, η επίδραση του τόκου κεφαλαίου και η συμβολή του κόστους στέγασης. Από την άλλη για τον καθορισμό των μεταβλητών δαπανών περιελάβαμε το κόστος Σ&Ε, το κόστος κατανάλωσης καυσίμων και λιπαντικών, το κόστος αμοιβής του χειριστή (4,5 €/h) και η συμβολή του τόκου κυκλοφορούντος κεφαλαίου. Ο καθορισμός του κόστους Σ&Ε προέκυψε από τα στοιχεία της έρευνας. Ο υπολογισμός της κατανάλωσης καυσίμου έγινε με βάση τον τύπο της ASABE(2009):

$$Q = \left(2{,}64 \times X + 3{,}91 - 0{,}203\sqrt{738 \times X + 173}\right) \times X \times 0{,}885 * P_{KIN}$$

Όπου Χ είναι το φορτίο λειτουργίας του γεωργικού ελκυστήρα και δοκιμάσαμε 25%, 50% και 85% και $P_{KIV.}$ είναι η ισχύς του μηχανήματος. Το κόστος λιπαντικών υπολογίστηκε ως το 10% του κόστους κατανάλωσης καυσίμων σύμφωνα με προσέγγιση του Τσατσαρέλη (2006). Η ανάλυση και η επεξεργασία των δεδομένων έγινε με το πρόγραμμα SPSS 15 for Windows και Excel 2007, Microsoft office.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

3.1 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΓΕΩΡΓΙΚΟΥ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ

Ο στόλος παρουσιάζει μέση ηλικία τα 20,5 έτη, αριθμός που προσεγγίζει τις προηγούμενες αναφορές. Η μέση ισχύς του γεωργικού ελκυστήρα που παρουσιάζεται είναι περίπου 84 hp και είναι παρόμοια με την έκθεση των Βεντούρη και Τσακανίκα (2011). Οι γεωργικοί ελκυστήρες αποδεικνύεται για άλλη μια φορά ότι παρουσιάζουν μικρό βαθμό αξιοποίησης καθώς οι ετήσιες ώρες λειτουργίας είναι 508 ενώ δεν διαφέρει με προηγούμενες εκτιμήσεις. Το κόστος Σ&Ε είναι ακόμα υψηλότερο σε σχέση με παλιότερες έρευνες πεδίου και υπολογίζεται στα 1511 €. Ένας λόγος που διαμορφώνεται υψηλό κόστος λειτουργίας πέρα από τον γερασμένο στόλο ενδέχεται να είναι ο τρόπος συντήρησης και επισκευών σύμφωνα με τους Punman et al. (2012) καθώς διαπιστώσαμε ότι το 33% των παραγωγών επεμβαίνει από μόνο του στον τρόπο επιδιόρθωσης και συντήρησης. Ακόμα, η έγκαιρη συντήρηση επιφέρει και πρόληψη για τις επισκευές αλλά στην παρούσα εργασία αποδεικνύεται ότι η αλλαγή λαδιού στους

γεωργικούς ελκυστήρες γίνεται κάθε 170 ώρες ενώ οι Γέμτος κ.α. (2001) προτείνουν κάθε 100.

3.2 ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ ΓΕΩΡΓΙΚΟΥ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ

Αρχικά ένας γεωργικός ελκυστήρας 85 hp κοστίζει κατά προσέγγιση 45.000 € αριθμός κρίσιμος για τον καθορισμό της απόσβεσης, την συμβολή του κόστους τόκου κεφαλαίου αλλά και της στέγασης. Γενικά οι σταθερές δαπάνες παρουσιάζουν κόστος ίσο με το 12-18% του συνολικού κόστους και οι μεταβλητές δαπάνες το υπόλοιπο 82-88%. Αναλυτικά στο Πίνακα 1 καθορίζονται οι δαπάνες χρήσης του γεωργικού ελκυστήρα.

Πίνακας 1: Διαμόρφωση του κόστους λειτουργίας του γεωργικού ελκυστήρα για 508 ώρες ετήσια χρήση.

ΚΟΣΤΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	€ /ΩΡΑ
Απόσβεση	2,49
Τόκος κεφαλαίου	2,04
Στέγαση-Ασφάλεια	0,89
Συντήρηση και επισκευές	3,05
Καύσιμα-λιπαντικά 25% φορτίο 50% φορτίο 85% φορτίο	 16,76 23,11 32,05
Αμοιβή χειριστή	4,61
Σύνολο	**29,83-45,12**

Γενικά παρατηρούμε ότι διαμορφώνεται ένα υψηλό ωριαίο κόστος λειτουργίας που αν το ανάγουμε σε ετήσιο διαμορφώνεται στα 15.154-22.921 € ενώ γνωρίζοντας μέσα από στοιχεία της έρευνας ότι η μέση στρεμματική έκταση είναι 179 στρέμματα τότε διαμορφώνεται στα 85-128 € ανά στρέμμα. Ιδιαίτερη συμβολή στην κατάσταση αυτή έχει το κόστος καυσίμων και λιπαντικών που είναι στο 55-71% (ανάλογα το φορτίο εργασίας) σε σχέση με το 13% συμβολής του που παρουσιάζουν οι Fairbanks et al. (1971) σε παλαιότερη αναφορά. Από την άλλη το κόστος Σ&Ε είναι στο 7-10% περίπου στο ίδιο επίπεδο με τους Fairbanks et al. (1971). Οι παράμετροι και οι τιμές μεταβάλλονται καθώς διαμορφώνεται διαφορετικό κόστος μεταβλητών δαπανών ανάλογα με το φορτίο εργασίας καθώς έτσι επηρεάζεται άμεσα το κόστος καυσίμων και λιπαντικών.

3.3 ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΚΟΣΤΟΥΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΚΑΙ ΕΠΙΣΚΕΥΩΝ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΙΣ ΩΡΕΣ ΚΑΙ ΤΑ ΕΤΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

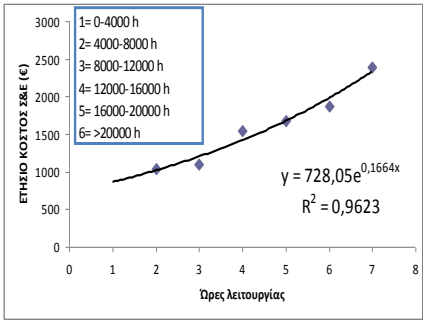
Αρχικά, έγινε προσπάθεια συσχέτισης του ωριαίου κόστους Σ&Ε με τις ετήσιες ώρες λειτουργίας του γεωργικού ελκυστήρα. Σε αυτή την περίπτωση παρατηρούμε ότι ως τις 200 ώρες λειτουργίας ο γεωργικός ελκυστήρας παρουσιάζει ένα ιδιαίτερα υψηλό ωριαίο κόστος Σ&Ε που στην συνέχεια πέφτει κατακόρυφα και μειώνεται με αργό ρυθμό ως τις 1400 ώρες και άνω (Σχήμα 1).

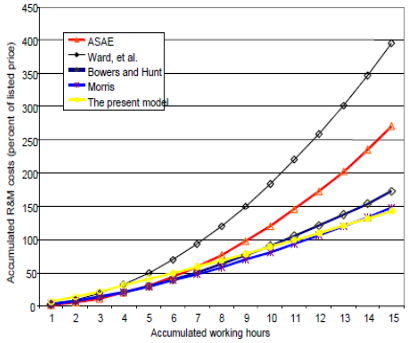
Σχήμα 1: Διαμόρφωση ωριαίου κόστους Σ&Ε με τις ετήσιες ώρες λειτουργίας (επάνω) και σχέση ωριαίου κόστους Σ&Ε με τις αθροιστικές και τα έτη λειτουργίας του Γ.Ε. (κάτω).

Μάλιστα και σε στατιστικό έλεγχο Post-Hoc (LSD) στατιστικά σημαντικές αποκλίσεις προέκυψαν μόνο μεταξύ του εύρους 0-200 ώρες και των υπόλοιπων. Ωστόσο, γνωρίζοντας ότι η μέση χρήση είναι 508 ώρες τότε διαμορφώνεται ωριαίο κόστος στα 2,59 € που απέχει περίπου 1,8 € ανά ώρα από ένα ελκυστήρα που έχει ιδανικές ετήσιες ώρες λειτουργίας, διαφορά μη αμελητέα. Ακόμα, έγινε προσπάθεια να συσχετιστεί το ωριαίο κόστος Σ&Ε με τα έτη χρήσης του ελκυστήρα και τις συνολικές ώρες λειτουργίας (Σχήμα 1). Στην περίπτωση αυτή το ωριαίο κόστος Σ&Ε αυξάνει σταθερά ως τα 15 έτη λόγω εντατικής χρήσης του ελκυστήρα και έπειτα ακολουθεί πτώση του κόστους. Το φαινόμενο αυτό οφείλεται πιθανώς στην διαρκώς μειωμένη χρήση του μηχανήματος από την εκμετάλλευση λόγω υψηλού κόστους λειτουργίας και την χρήση νεότερου και παρομοιάζεται με την έρευνα του Hunt (1995). Σε Post-hoc έλεγχο (LSD) στατιστικά σημαντικές διαφορές προέκυψαν μεταξύ των ετών λειτουργίας 12-15 όπου παρουσιάζεται πολύ μεγάλο κόστος σε σχέση με την αρχική λειτουργία του ελκυστήρα στα 0-3 έτη και στα 16-30 ετών (λόγω λιγότερων ετήσιων ωρών άρα και συρρικνωμένο κόστος).

Μια ενδιαφέρουσα συσχέτιση που πραγματοποιήθηκε ήταν η σχέση μεταξύ του συνολικού ετήσιου κόστους Σ&Ε με τις αθροιστικές ώρες λειτουργίες του ελκυστήρα. Στην περίπτωση αυτή παρατηρήθηκε ότι το ετήσιο κόστος Σ&Ε αύξανε ανάλογα με τις ώρες χρήσης. Μάλιστα παρατηρήθηκε ότι η εκθετική συνάρτηση αποτύπωνε την καλύτερη συσχέτιση με συντελεστή R^2=0,96 σε αντίθεση με τις περισσότερες έρευνες που ικανοποιούνται με υπερβολική (Σχήμα 2). Η αποτύπωση της εξίσωσης ωστόσο ικανοποιεί εύρη ωρών λειτουργίας και όχι συγκεκριμένες τιμές ενώ συγκρίνοντας την παρούσα με τις προηγούμενες

μελέτες είναι ότι η συγκεκριμένη δεν λαμβάνει κόστος μηδενικό κατά τα πρώτα έτη χρήσης καθώς και ότι οι προηγούμενες μελέτες παρουσίαζαν συσχέτιση με την αρχική αξία του ελκυστήρα. Ακόμα παρουσιάζει στοιχείο μελέτης του στόλου Ελληνικών εκμεταλλεύσεων με καθορισμένες ώρες λειτουργίας και έτη χρήσης. Τέλος, οφείλουμε να προσθέσουμε ότι ο αριθμός του στόλου εξέτασης (509 γ.ε.) ήταν αρκετά μεγάλος και σπάνια συναντάμε τέτοιο αριθμό σε προηγούμενες αναφορές εξέτασης κόστους και συντήρησης και έτσι η συμβολή της παραλλακτικότητας του δείγματος στην περίπτωση αυτή είναι μεγαλύτερη.

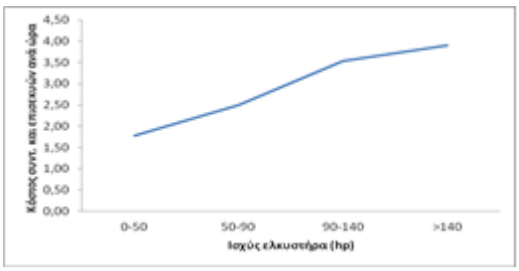




Σχήμα 2: Διαμόρφωση ετήσιου κόστους λειτουργίας σε σχέση με τις συνολικές ώρες λειτουργίας του γεωργικού ελκυστήρα, εκτίμηση συνάρτησης και σύγκριση με προηγούμενες έρευνες

3.4 ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΚΟΣΤΟΥΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΚΑΙ ΕΠΙΣΚΕΥΩΝ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΙΣΧΥ ΤΟΥ ΓΕΩΡΓΙΚΟΥ ΕΛΚΥΣΤΗΡΑ.

Στην περίπτωση αυτή έγινε καθορισμένος διαχωρισμός σε εύρη ιπποδύναμης για την μελέτη της σχέσης της ισχύος με το κόστος Σ&Ε. Το κόστος Σ&Ε αυξάνεται απότομα από την αύξηση της ισχύος εκτός από την μετάβαση ελκυστήρων 90-140 hp στην κατηγορία >140 hp (Σχήμα 3). Άλλωστε το μέγεθος του ελκυστήρα είναι από τους κύριους παράγοντες καθορισμού του κόστους Σ&Ε σύμφωνα με σύνολο αναφορών. Σε Post-hoc (LSD) έλεγχο όλα τα εύρη ισχύς του ελκυστήρα διαφέρουν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους εκτός από το προτελευταίο με το τελευταίο.



Σχήμα 3: Διαμόρφωση ωριαίου κόστους Σ&Ε σε σχέση με την ισχύ.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα μελέτη επιβεβαιώνεται η ύπαρξη ενός γερασμένου στόλου γεωργικών ελκυστήρων που σε συνδυασμό με τις μη ορθολογικές πρακτικές διαχείρισης του διαμορφώνεται υψηλό κόστος λειτουργίας (130 €/ στρ.). Η επιλογή του ελκυστήρα συμβάλει μεν στην διαμόρφωση του συνολικού κόστους μέσω των σταθερών δαπανών αλλά κυρίως μέσω της κατανάλωσης καυσίμου καθώς όσο μεγαλύτερη η ισχύς ενός γεωργικού ελκυστήρα τόσο μεγαλύτερη και η κατανάλωση καυσίμου. Ωστόσο στην διαμόρφωση του υψηλού κόστους καυσίμων κατά κύριο λόγο συμβάλει η υψηλή τιμή του πετρελαίου κίνησης. Άρα προφανώς είναι απαραίτητο να δοθούν οικονομικότερες λύσεις για την ενεργειακή κάλυψη των εργασιών.

Όσον αφορά το κόστος Σ&Ε κατέχει ένα σταθερό ποσοστό με την πάροδο των χρόνων στο συνολικό κόστος λειτουργίας του ελκυστήρα το οποίο ωστόσο δεν είναι αμελητέο. Πρακτικές λανθασμένης διαχείρισης όπως ο τρόπος επισκευών αλλά και η καθυστερημένη συντήρηση είναι κάποιοι από τους λόγους. Ακόμα, οι μειωμένες ώρες λειτουργίας του στόλου σε συνδυασμό με την γερασμένη ηλικία του δημιουργούν όλο και μεγαλύτερο ωριαίο κόστος λειτουργίας του ελκυστήρα. Παρόλα αυτά η λύση περιορισμού του κόστους από την πλευρά των παραγωγών όπως παρατηρούμε είναι να μειώνονται οι ώρες λειτουργίας του παλιού ελκυστήρα μετά από 15 έτη χρήσης και να δραστηριοποιείται πιο εντατικά ο νεότερος ελκυστήρας. Ωστόσο, αυτή ίσως είναι η λύση με την μικρότερη δυνατή αποδοτικότητα του μηχανήματος καθώς το ωριαίο κόστος Σ&Ε είναι δυνατόν να μειωθεί αποτελεσματικά με την μεγαλύτερη αξιοποίηση των γεωργικών ελκυστήρων σε ώρες λειτουργίας. Ακόμα παρατηρήσαμε ότι με την αύξηση της ισχύος αυξάνει στατιστικά σημαντικά και το κόστος Σ&Ε. Τέλος, το ετήσιο κόστος Σ&Ε για το δείγμα των ελληνικών συνθηκών που εξετάστηκε παρουσιάζει κυρίως εκθετική μορφή αύξησης σε σχέση με τις ώρες λειτουργίας του.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ahmed, M.H., A.A. Ahmed, A.B Saeed,. and I. Haffar. 1999. Tractor repair and maintenance in India, AMA, 30(2):15- 18.

Al-Suhaibani, S.A. and M. F. Wahby. 1999. Tractor Repair and Maintenace in Saudi Arabia. Applied Engineering in Agriculture, 15(6): 591-596

Bowers, W. and D.R. Hunt, 1970. Application of mathematical formulas to repair cost data. Transactions of the ASAE, 13(6): 806-809

Bukhari, S. B., J. M. Baloch, and S. H. Naqwi. 1988. Cost of operating tractor on Quetta Farms, Pakistan. Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America, 19(1): 14-20.

Eraghi, A.R., I. Ranjbar and M. Toorchi, 2006. Optimum mathematical model for predicting R&M costs of operation tractors in Mazandaran Dasht-e-Naz Farm Company. J. Agri. Sci., 15: 101-112.

Fairbanks,, G., G.H. Larson and D. Chung. 1971. Cost of Using Farm Machinery. Transactions of the ASAE 14(I):98-101

Khodabarshian, R. and M. Shakari. 2011. Prediction of repair and maintenance costs of farm tractors by using of preventive maintenance. International Journal of Agriculture Sciences, 3(1): 39-44

Morris, J. (1988). Estimation of tractor repair and maintenance costs. Journal of Agricultural Engineering Research., 41: 191–200.

Niari, S.M., I. Ranjbar and M. Rashid. 2012. Prediction of Repair and Maintenance Costs of John Deere 4955 Tractors in Ardabil Province, Iran. World Applied Sciences Journal 19 (10): 1412-1416

Olt,, J. and U. Traat. 2011.The maintenance costs of Estonian tractor-fleet. Engineering for Rural Development. 10: 196-200.

Punman, U., S. Uchida, S. Inaba. 2012. Operators' Capability and Facilities Availability for Repair and Maintenance of Small Tractors in Riau Province, Indonesia: A Case Study. Journal of Agricultural Science, 4(3): 71-78

Rashidi, M. and I. Ranjbar . 2011. Modeling of Repair and Maintenance Costs of Massey Ferguson 285 Tractors in Iran. American- Eurasian J. Agric. & Environ. Sci., 10 (3): 361-365

Rotz, C.A., 1987. A standard model for repair costs of.agricultural machinery. Appl. Eng. Agric., 3: 3-9.

Singh, S.P., D.K. Vatsa and H.B. Singh. 2000. Effect of utilization and handling of tractors on their repair and maintenance under hilly conditions. Journal of Agricultural Engineering 37(1): 13-21

Ward, S.M., P.B. McNulty and M.B. Cunney, 1985. Repair costs of 2 and 4 WD tractors. Transactions of the ASAE, 28(4): 1074- 1076.

Γέμτος, Θ.Α., Ν. Μπλάνας, Αθ. Νικάκης, Ε. Εξάρχου. 1998. Σύνθεση του Γεωργικού Εξοπλισμού Γεωργικών Εκμεταλλεύσεων του Ν. Λαρίσης και Στοιχεία Αξιοποίησής του: Μελέτη σε Γεωργικές Εκμεταλλεύσεις που εντάχθηκαν στο Κανονισμό 797/85. Γεωτεχνικά Επιστημονικά Θέματα, τόμος 9 (2), 20-31.

ASABE Standards, 1988. ASABE yearbook, ST. Joseph, Michigan, United States of America

ASABE Standards, 2009. ASABE yearbook, ST. Joseph, Michigan, United States of America

Culpin, C.. 1975. Profitable farm mechanization. Crosby Lockwood Staples. Pages 307

Hunt, D.R. 1994. Farm Power and Machinery Management. Iowa State University Press. Iowa

Γέμτος, Θ., Γ. Μπουραζάνης, Σπ. Φουντάς. Εκμηχάνιση Γεωργικών Εκμεταλλεύσεων. Οργανισμός Εκδόσεων Διδακτικών Βιβλίων. Σελ. 249

Τσατσαρέλης, Κ., 2006. Διαχείριση γεωργικών μηχανημάτων. Γιαχούδη, Θεσσαλονίκη

Αναγνωστόπουλος, Δ., Σ. Φουντάς, Θ.Α. Γέμτος. 2011. Διαχείριση Γεωργικού Εξοπλισμού στην Ελλάδα: Έρευνα πεδίου 2011. 7ο Πανελλήνιο Συνέδριο Γεωργικής Μηχανικής, Νοέμβριος 2011, Αθήνα

Βεντούρης, Ν., Α. Τσακανίκας .2011.Αγροτικά Μηχανήματα και Ανταγωνιστικότητα του Πρωτογενούς τομέα. ΙΟΒΕ. Αθήνα

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ ΧΡΗΣΗΣ ΕΛΚΥΣΤΗΡΑ ΚΑΙ ΠΑΡΕΛΚΟΜΕΝΩΝ ΓΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΣΙΤΗΡΩΝ ΚΑΙ ΒΑΜΒΑΚΟΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

Ε. Σαμούρης, Δ. Σταφυλά, Π. Μαντά, Σπ.Φουντάς, Χ. Καβαλάρης, Α. Γέμτος.
Παν. Θεσσαλίας, Τμήμα Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, Οδός Φυτόκου, 38446 Ν. Ιωνία.

Τα γεωργικά μηχανήματα αποτελούν τμήμα του επενδεδυμένου κεφαλαίου μιας γεωργικής εκμετάλλευσης και συμβάλλουν στην αύξηση της παραγωγικότητας του εδάφους και στη βελτίωση της ποιότητας των προϊόντων, με βασική προϋπόθεση την ορθολογική τους χρήση. Στην παρούσα εργασία καταγράφηκαν τα στοιχεία τεσσάρων παραγωγών στην περιοχή της Λάρισας που αφορούσαν στο τύπο, στην τιμή και την ιπποδύναμη του γεωργικού ελκυστήρα καθώς και στα παρελκόμενα που χρησιμοποιούν.Υπολογίστηκε το κόστος χρήσης του γεωργικού εξοπλισμού με βάση τη μέθοδο του ελαχίστου κόστους και με βάση την εγκαιρότητα των επεμβάσεων. Εκτιμήθηκε επίσης η απαιτούμενη ισχύς ενός νέου γεωργικού ελκυστήρα με σκοπό τη μείωση του κόστους λειτουργίας. Συμπερασματικά, προέκυψε ότι οι παραγωγοί χρησιμοποιούν γεωργικούς ελκυστήρες που υπερκαλύπτουν τις ανάγκες τους και θα μπορούσαν να αντικατασταθούν με καινούριους, μικρότερης ισχύος ώστε να μειώνεται το κόστος παραγωγής. Η απόκλιση της ιπποδύναμης των υπαρχόντων γεωργικών ελκυστήρων από την ιπποδύναμη ενός εν δυνάμει νέου ελκυστήρα υπολογίστηκε σε ένα ποσοστό περίπου 50% με βάση τη μέθοδο του ελαχίστου κόστους ενώ με βάση την εγκαιρότητα, το ποσοστό αυτό άγγιξε το 30%. Τέλος συγκρίνοντας τους παραγωγούς, προκύπτει ότι δεν διαχειρίστηκαν τον γεωργικό τους εξοπλισμό το ίδιο ορθολογικά τόσο όσο αφορά τον οικονομικό τομέα αλλά και ως προς το χρόνο εργασίας και παραγωγής.

Λέξεις κλειδιά: γεωργικός ελκυστήρας, κόστος χρήσης, ιπποδύναμη, μέθοδος ελαχίστου κόστους, μέθοδος εγκαιρότητας

COST AND PRODUCTION ESTIMATION OF CEREALS AND COTTON IN THESSALY

E. Samouris, D. Stafyla, P. Manta, Sp. Fountas, X. Kavalaris, A.Gemtos.
University of Thessaly, Department of Crop Production and Rural Environment, Fytokou Street, 38446 N. Ionia.

Agricultural machinery is part of the invested capital of any form of agricultural exploitation and contribute to the increase of soil productivity and improvement of product quality, the prerequisite being their rational use. In this project we have recorded data from four production units in the area of Larissa, regarding the type, price and horsepower of the agricultural tractor, as well as other equipment being used. The utilization cost of the agricultural equipment was calculated according to the minimal-cost method and timeframe of interventions.The required power of a new tractor has also been evaluated with a view to reducing operating costs. We have concluded that producers use tractors exceeding their needs thus they could be replaced by new, of lower capacity so as to reduce production cost. The deviation of the horsepower of the existing tractors from the horsepower of a potential new tractor was calculated at a rate of approximately 50% by minimal-cost method, while based on timeliness the rate dropped at 30%. Finally comparing the producers we came to the conclusion that they did not manage their agricultural equipment reasonably neither financially nor time of labor and production-wise.

Key words: agricultural tractor, utilization cost, horsepower, minimal-cost method, timeliness method

1. Εισαγωγή

Από προηγούμενες μελέτες προκύπτει ότι συνήθως γίνεται κακή διαχείριση του γεωργικού εξοπλισμού κάτι που αποτέλεσε την αφορμή για την παρούσα εργασία (Τσατσαρέλης, 2006). Έτσι μελετήσαμε το κόστος χρήσης των γεωργικών μηχανημάτων καθώς και κατά πόσο χρησιμοποιούνται ορθολογικά. Από τα μηχανήματα που χρησιμοποιούνται στη γεωργία, ο ελκυστήρας είναι εκείνος που συμβάλλει περισσότερο στη διαμόρφωση του κόστους, επειδή χρησιμοποιείται σ' όλα τα στάδια της παραγωγικής διαδικασίας, παρέχοντας ισχύ για την κίνηση και την λειτουργία όλων των παρελκομένων μηχανημάτων (Τσατσαρέλης, 2006). Για τον λόγο αυτό είναι αναγκαία η μελέτη του κόστους χρησιμοποίησης του. Απαραίτητος θεωρείται επίσης και ο έλεγχος του κόστους των παρελκομένων, αλλά και των συστημάτων ελκυστήρα - παρελκομένων, θεωρουμένων ως ενιαίων μηχανικών συστημάτων (Bowers, 1992). Αναγκαίος όμως είναι και ο έλεγχος του κόστους όλων των άλλων αυτοκινούμενων γεωργικών μηχανημάτων (Τσατσαρέλης, 2000).

2. Υλικά και μέθοδοι

Η καταγραφή των στοιχείων πραγματοποιήθηκε στο Ν. Λάρισας. Οι δύο πρώτοι παραγωγοί ηλικίας 53 και 54 χρονών αντίστοιχα, είχαν ως κύρια καλλιέργεια το σιτάρι, με 500 στρ και οι δύο , ενώ οι γεωργικοί τους ελκυστήρες ήταν 100 και 115 hp αντίστοιχα. Το κόστος αγοράς των γεωργικών ελκυστήρων ανήλθε στα 40.000€ για τον Ά παραγωγό, ενώ για τον Έ στα 60.000€. Η κύρια καλλιέργεια των δύο επόμενων παραγωγών ηλικίας 56 και 57 χρονών αντίστοιχα, ήταν το βαμβάκι με εκτάσεις 500 στρεμμάτων. Η ιπποδύναμη των γεωργικών ελκυστήρων κάθε παραγωγού ήταν 151 και 155 hp αντίστοιχα. Η αγορά τους στοίχησε 68.000€ στον πρώτο καλλιεργητή και 73.000€ στον δεύτερο.

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας υπολογίστηκε το κόστος χρήσης του γεωργικού ελκυστήρα και των παρελκομένων με βάση το γενικό σύνολο των δαπανών (σταθερές και μεταβλητές) και με βάση την εγκαιρότητα των επεμβάσεων. Επιπλέον υπολογίστηκε η απαιτούμενη ισχύς των γεωργικών ελκυστήρων με βάση τη μέθοδο του ελαχίστου κόστους καθώς και με τη μέθοδο της εγκαιρότητας των επεμβάσεων. Τέλος βασικό στόχο της εργασίας αποτέλεσε ο υπολογισμός του κόστους ενός πιθανού νέου γεωργικού ελκυστήρα με βάση το σύνολο μεταβλητών και σταθερών δαπανών, καθώς και με βάση την μέθοδο της εγκαιρότητας.

3. Υπολογισμοί – Αποτελέσματα

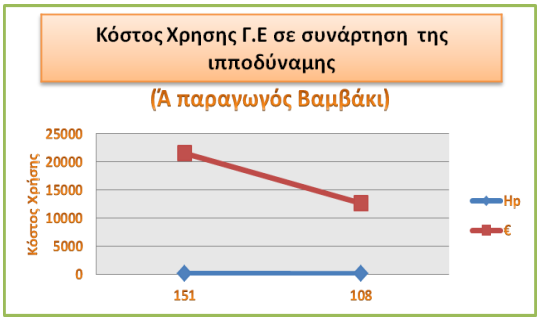
Καλλιέργεια βαμβακιού

Ά Παραγωγός

Υπάρχων Γ.Ε. 151 Hp 68.000€

	Γενικό Σύνολο	Με βάση την Εγκαιρότητα των επεμβάσεων
Κόστους χρήσης Γ.Ε. (151Hp)	21.428 €	21.558 €
Κόστους Χρήσης Παρελ/νων	12.353 €	12.483 €
Συνολική Ενέργεια στο PTO		28 kWh/στρ
	Με βάση το Ελάχ. Κόστος	Με βάση την Εγκαιρότητα των επεμβάσεων
Απαιτούμενης ισχύος	66 Hp	108 Hp
	Γενικό Σύνολο	Με βάση την Εγκαιρότητα των επεμβάσεων
Κόστους χρήσης καινούργιου Γ.Ε. (108Hp)	12.529 €	12.660 €

	Hp	€
	151	21558
	108	12660
ΔΙΑΦΟΡΑ	39,81%	70,28%

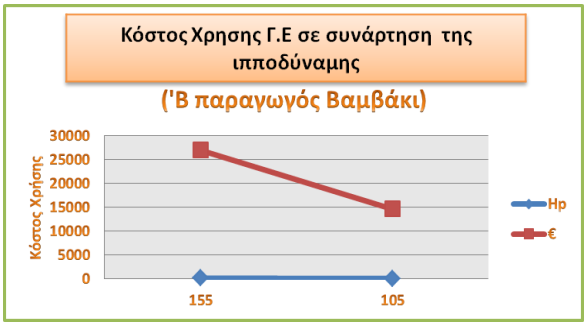


Ά Παραγωγός

Υπάρχων Γ.Ε. 155 Hp 73.000€

	Γενικό Σύνολο	Με βάση την Εγκαιρότητα των επεμβάσεων
Κόστους χρήσης Γ.Ε. (155Hp)	26.877 €	27.012 €
Κόστους Χρήσης Παρελ/νων	13.264 €	13.399 €
Συνολική Ενέργεια στο PTO		28 kWh/στρ
	Με βάση το Ελάχ. Κόστος	Με βάση την Εγκαιρότητα των επεμβάσεων
Απαιτούμενης ισχύος	64 Hp	105 Hp
	Γενικό Σύνολο	Με βάση την Εγκαιρότητα των επεμβάσεων
Κόστους χρήσης καινούργιου Γ.Ε. (108Hp	14.524 €	14.659 €

	Hp	€
	115	9143
	88	6972
ΔΙΑΦΟΡΑ	30,68%	31,14%

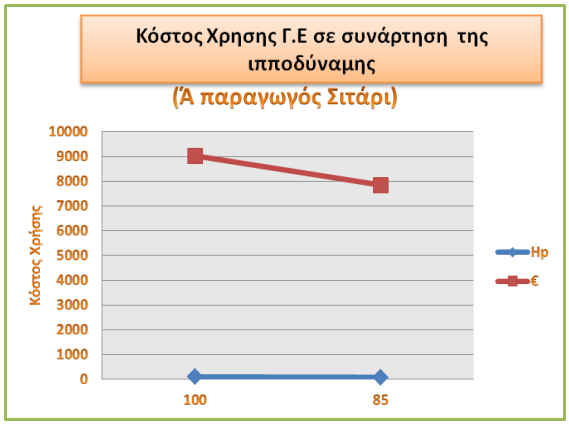


ΣΙΤΑΡΙ

Ά Παραγωγός

Υπαρχών Γ.Ε 100 Hp 40.000€

	Γενικό Σύνολο	Με βάση την Εγκαιρότητα των επεμβάσεων
Κόστους χρήσης Γ.Ε. (100Hp)	7.638 €	9.028 €
Κόστους Χρήσης Παρελ/νων	8.029 €	9.419 €
Συνολική Ενέργεια στο PTO		16 kWh/στρ
	Με βάση το Ελάχ. Κόστος	Με βάση την Εγκαιρότητα των επεμβάσεων
Απαιτούμενης ισχύος	60 Hp	85 Hp
	Γενικό Σύνολο	Με βάση την Εγκαιρότητα των επεμβάσεων
Κόστους χρήσης καινούργιου Γ.Ε. (85Hp)	6.459 €	7.849 €

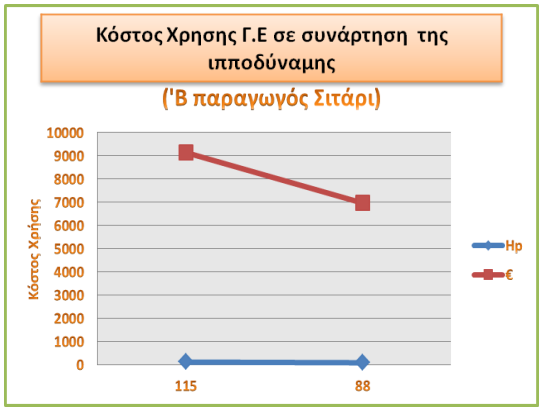


	Hp	€
	100	9028
	85	7849
ΔΙΑΦΟΡΑ	17,65%	15,02%

Ά Παραγωγός

Υπαρχών Γ.Ε 115 Hp 60.000€

	Γενικό Σύνολο	Με βάση την Εγκαιρότητα των επεμβάσεων
Κόστους χρήσης Γ.Ε. (115Hp)	8.248 €	9.143 €
Κόστους Χρήσης Παρελ/νων	9.271 €	10.166 €
Συνολική Ενέργεια στο PTO		16 kWh/στρ
	Με βάση το Ελάχ. Κόστος	Με βάση την Εγκαιρότητα των επεμβάσεων
Απαιτούμενης ισχύος	62 Hp	88 Hp
	Γενικό Σύνολο	Με βάση την Εγκαιρότητα των επεμβάσεων
Κόστους χρήσης καινούργιου Γ.Ε. (88Hp)	6.077 €	6.972 €



	Hp	€
	155	27012
	105	14659
ΔΙΑΦΟΡΑ	47,62%	84,27%

4. Συμπεράσματα

Από την παρούσα μελέτη πρόκυψε ότι όλοι οι παραγωγοί χρησιμοποιούν μεγαλύτερης ιπποδύναμης γεωργικά μηχανήματα από ότι χρειάζονται υπερκαλύπτοντας τις ανάγκες τους.

Συγκρίνοντας τους δύο παραγωγούς σιταριού, ενώ και οι δύο έχουν οικονομικό όφελος από την καλλιέργεια, διαπιστώνουμε πως ο Α παραγωγός διαχειρίστηκε τον γεωργικό του εξοπλισμό καλύτερα από το Β και ως προς τον οικονομικό τομέα αλλά και ως προς το χρόνο εργασίας και παραγωγής. Τα παραπάνω προκύπτουν από τη μελέτη που πραγματοποιήθηκε για την πιθανή αγορά καινούριου ελκυστήρα. Αν αγόραζε καινούριο ελκυστήρα ο Α παραγωγός θα διέφερε σε ιπποδύναμη από τον παλιό κατά 15hp ενώ ο ελκυστήρας του Β παραγωγού κατά 27hp, αποτέλεσμα μακροχρόνια ζημιογόνο. Για το λόγο αυτό προτείνεται στο Β παραγωγό για την κύρια καλλιέργεια ελκυστήρας 88 hp για αύξηση του οικονομικού του όφελους.

Ο γεωργικός εξοπλισμός και των δύο παραγωγών βαμβακιού υπερκαλύπτει τις ανάγκες τους, όσον αφορά την βασική τους καλλιέργεια πάντα, αφού ο Α' παραγωγός διαθέτει γεωργικό ελκυστήρα 43hp μεγαλύτερο από ότι χρειάζεται και ο Β' παραγωγός 50hp μεγαλύτερο. Για το λόγο αυτόν επιβάλλεται και οι δύο παραγωγοί να αντικαταστήσουν τους γεωργικούς τους ελκυστήρες με καινούργιους αρκετά μικρότερης ισχύος που θα μειώσει σημαντικά τις σταθερές και τις μεταβλητές τους δαπάνες.

Βιβλιογραφία

Bowers, W. 1992. Machinery management. Deere and Co Service Publications. J. Deere. Moline, Illinois.

Τσατσαρέλης, Κ. Α. 2006. Διαχείριση Γεωργικών Μηχανημάτων Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Γιαχούδη.

Τσατσαρέλης, Κ. Α. 2000. Αρχές Μηχανικής Κατεργασίας του Εδάφους και Σποράς. Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Γιαχούδη.

ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΓΕΩΡΓΙΚΟΥ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ ΚΑΙ Η ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΗΣ ΣΤΟ ΚΟΣΤΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

Δ. Β. Αναγνωστόπουλος[1] , Σπ., Φουντάς[1], Σ. Παστόπουλος[1], Α. Φυντανής[1], Θ.Α. Γέμτος[1]

Παν. Θεσσαλίας, Τμήμα Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, Οδός Φυτόκου, 38446 Ν. Ιωνία. Email: dvanagnosto@yahoo.gr

Το υψηλό κόστος παραγωγής αποτέλεσε μεγάλη τροχοπέδη για την ανάπτυξη του αγροτικού τομέα στον Ελλαδικό χώρο. Ένας από τους παράγοντες που συμβάλουν σ' αυτό το κόστος είναι η χρήση του γεωργικού εξοπλισμού λόγω λανθασμένης διαχείρισης. Η προσέγγιση του προβλήματος προϋποθέτει αρχικά την εκτίμηση των συνθηκών που επικρατούν στο Ελλαδικό χώρο και έπειτα προτάσεις επίλυσης. Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται αποτελέσματα τριετούς έρευνας πεδίου που πραγματοποιήθηκε τις χρονιές 2008, 2011 και 2012 στο Ελλαδικό χώρο. Η έρευνα εστίασε στην διαχείριση γεωργικού εξοπλισμού με έμφαση το γεωργικό ελκυστήρα αλλά συγκέντρωσε και στοιχεία για τις εκμεταλλεύσεις και τους ιδιοκτήτες γενικότερα. Για άλλη μια φορά προέκυψε γερασμένος αγροτικός πληθυσμός δίχως προοπτική ανανέωσης του με μικρό και πολυκερματισμένο κλήρο. Ωστόσο, κύρια συμπεράσματα έπειτα από την στατιστική ανάλυση και την ερμηνεία των αποτελεσμάτων ήταν η επιβεβαιωμένη για άλλη μια φορά κακή διαχείριση του εξοπλισμού που σε συνδυασμό με το παλαιωμένο γεωργικό εξοπλισμό διαμορφώνουν ένα ιδιαίτερα υψηλό κόστος παραγωγής. Ελκυστήρες άνω των 20 ετών, δίχως αρκετές ώρες λειτουργίας και με κόστος επισκευών και συντήρησης που ξεπερνάει τα 1500 € ανά έτος. Σε επίπεδο γεωργικής εκμετάλλευσης προέκυψε ότι σχεδόν το 50% της ακαθάριστης προσόδου μπορεί να οφείλεται σε κόστος λόγω λανθασμένης διαχείρισης γεωργικού εξοπλισμού. Παρόλα αυτά το θετικό κομμάτι της έρευνας είναι ότι οι παραγωγοί είναι δεκτικοί στην παρακολούθηση σεμιναρίων για την ορθολογική χρήση του εξοπλισμού και την χρήση νέων τεχνολογιών αλλά και σε δράσεις ανανέωσης του στόλου. Οπωσδήποτε όμως οποιαδήποτε ενέργεια γίνει πρέπει να προηγείται η ενημέρωση των δράσεων για να μην οδηγηθούμε σε λάθη του παρελθόντος.

Λέξεις Κλειδιά: Γεωργικός ελκυστήρας, διαχείριση, εξοπλισμός, έρευνα πεδίου

FARM MANAGEMENT AND ITS EFFECT ON THE PRODUCTION COST

D.V. Anagnostopoulos[1], Sp. Fountas[1], S. Pastopoulos[1], A. Fyntanis[1], T.A. Gemtos[1]

[1]University of Thessaly, Department of Crop Production and Rural Environment, Fytoko street, 38446 N. Ionia. Email: dvanagnosto@yahoo.gr

High production cost has been a huge obstacle for the development of the agricultural sector in Greece. One of the reasons for this is the incorrect usage of farm machinery due to false management. In order to understand the problem, it is necessary to evaluate the existing conditions and then propose solutions. In this paper, results of a 3-year field research (2008, 2011, 2012) in Greece are presented. This research focused on the general management of farming machinery and especially the tractor. Once again, it proved out to be that the Greek farming population is old, with no perspective of renewal and with over-divided hectares. However, a critical conclusion that came out from the statistical analysis was the once again confirmed maltreatment of the farming equipment. As shown, this fact in combination with the old farming machinery result in especially high production cost. A typical greek tractor is over 20 years old, without enough working hours and with really high maintenance and mending cost (over 1.500 euros). With regards to farming exploitation it was found that almost 50% of the net profit comes out from the cost evoking from bad farming equipment management. However, as shown in the research it is encouraging that farmers are willing to attend seminars about the rational usage of machinery, the usage of new technology and the renewal of the workforce. Thus, it has to be said that whatever action will be taken has to be totally decided after the farmers will have been informed in order to avoid the mistakes of the past.

Keywords: tractor, management, equipment, field research

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σύμφωνα με στοιχεία της ΕΣΥΕ για το 2007, στην Ελλάδα καλλιεργείται ένα σύνολο εκτάσεων 35.439 χιλ. στρεμμάτων και υπάρχουν 851.683 γεωργικές εκμεταλλεύσεις. Το 78,5% των εκτάσεων είναι αρδευόμενο. Το 76% των αρχηγών των εκμεταλλεύσεων είναι κατά κύριο επάγγελμα αγρότες. Οι εκμεταλλεύσεις που έχουν μόνιμους εργάτες απασχολούν κατά μέσο όρο 1,53 εργάτες ανά εκμετάλλευση ενώ αυτές που έχουν και εποχικό προσωπικό απασχολούν 3,16 εργάτες. Στην Ελλάδα εκτιμάται ότι υπάρχουν 259.603 διαξονικοί και 134.085 μονοαξονικοί ελκυστήρες σε περίπου 230.000 και 78.500 εκμεταλλεύσεις αντίστοιχα. Υπάρχει αναλογία περίπου σε 75 στρ. ένας διαξονικός ελκυστήρας και σε 24 στρ. ένας μονοαξονικός (ΕΣΥΕ, 2007). Στην Ε.Ε. ο αριθμός των γεωργικών εκμεταλλεύσεων είναι 10.745.757 και αντιστοιχεί ένας ελκυστήρας ανά 120 στρ. (FAO, 2006). Ο βαθμός εκμηχάνισης της χώρας δεν είναι ιδιαίτερα υψηλός αν κρίνουμε από τους 0,5 ελκυστήρες ανά εκμετάλλευση σε σχέση με άλλες

χώρες της Ε.Ε. που έχουν έναν μέσο όρο 2,8 (Βεντούρης και Τσακανίκας, 2011). Αν όμως απομονώσουμε μόνο τις εκμεταλλεύσεις που έχουν ελκυστήρα διαμορφώνεται 1,11 ελκυστήρες ανά εκμετάλλευση (ΕΣΥΕ, 2007). Αντίστοιχα δεδομένα υπάρχουν και για τα παρελκόμενα αλλά και για τις συλλεκτικές μηχανές. Σύμφωνα με στοιχεία από την Eurostat και των Βεντούρη και Τσακανίκα (2011) στην χώρα μας υπάρχουν 88.840 παρελκόμενα κατεργασίας εδάφους που αντιστοιχούν σε 2,2 μηχανήματα ανά 100 ha ενώ στην Ε.Ε. είναι 2,18/100ha. Όσον αφορά στις θεριζοαλωνιστικές αντιστοιχούν για τον Ελλαδικό χώρο 0,08/100ha ενώ ο αντίστοιχος μέσος όρος της Ε.Ε. είναι 0,68. Σύμφωνα με στοιχεία της ΕΣΥΕ το 2006 καταγράφτηκαν 4.078 σπαρτικές και 38.133 ψεκαστήρες. Ο στόλος γεωργικών ελκυστήρων είναι παλαιωμένος καθώς διαμορφώνεται ένας μέσος όρος στα 22,4 έτη (Βεντούρης και Τσακανίκας, 2011). Όσον αφορά τα παρελκόμενα, σύμφωνα με έρευνα των Αμπατζίδη και άλλων (2008) το 35,79% είναι μικρότερα των 5 ετών , το 28,7% είναι 6 ως 10 ετών και πάνω από 10 έτη είναι το 35,51 % των παρελκόμενων. Με στοιχεία από τους Βεντούρη και Τσακανίκα (2011) έχει εκτιμηθεί ότι η μέση ισχύς των ελκυστήρων πλέον έχει διαμορφωθεί στους 77 hp. Η χρήση των ελκυστήρων είναι γενικά χαμηλή καθώς χαρακτηριστικά οι Τσατσαρέλης (2006) και Γέμτος και άλλοι (1998) αναφέρουν 420 και 355,8 (χωρίς χρήση για πότισμα) ώρες λειτουργίας του γεωργικού ελκυστήρα αντίστοιχα. Για τις μειωμένες ώρες λειτουργίας του ελκυστήρα λύση μπορεί να αποτελέσει η ενοικίαση αγροτικών μηχανημάτων ή η εκτέλεση εργασιών από επαγγελματίες του είδους. Ωστόσο, σύμφωνα με τους Παστόπουλο και άλλους (2008) το μεγαλύτερο μέρος των αγροτών (79,4%) δεν ενοικιάζει ξένα μηχανήματα ούτε νοικιάζει δικό του εξοπλισμό σ' άλλες εκμεταλλεύσεις. Όσον αφορά το ετήσιο κόστος συντήρησης και επισκευών οι Αναγνωστόπουλος και άλλοι (2011) αναφέρουν ότι προσεγγίζει τα 1431 €. Σκοπός της έρευνας αυτής είναι να καταγραφεί η υφιστάμενη κατάσταση σε θέματα διαχείρισης του γεωργικού εξοπλισμού στον Ελλαδικό χώρο, να γίνει μια προσπάθεια προσδιορισμού των λόγων που συμβάλουν στο πρόβλημα και των κριτηρίων με βάση των οποίων ενεργεί ο αγροτικός κόσμος.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Για την καταγραφή της υπάρχουσας κατάστασης στη διαχείριση γεωργικού εξοπλισμού πραγματοποιήθηκαν 448 προσωπικές συνεντεύξεις σε τυχαίους παραγωγούς από φοιτητές του Τμήματος Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας. Συνολικά υπήρχαν 38 ερωτήσεις, 19 κλειστού και 19 ανοικτού τύπου. Η διαδικασία πραγματοποιήθηκε τις χρονολογίες 2008, 2010, 2011 και 2012. Οι τομείς που καλύφθηκαν ήταν δημογραφικά στοιχεία, ο τύπος της εκμετάλλευσης, ο διαθέσιμος εξοπλισμός γεωργικών μηχανημάτων και τέλος η διαχείριση του. Το σύνολο της έρευνας εξαπλώθηκε σε 20 νομούς με κύριους εκπροσώπους όμως από την ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλίας. Τέλος, τα αποτελέσματα που προέκυψαν αναλύθηκαν με το λογισμικό πακέτο Excel 2007, Microsoft office και με το στατιστικό πακέτο SPSS 15 for Windows.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

3.1 Δημογραφικά στοιχεία

Η μέση ηλικία των παραγωγών ήταν 49 έτη, ενώ το 53% από αυτούς δεν έχει διάδοχο στην εκμετάλλευση. Τα παραπάνω αποτελέσματα ωστόσο δεν είναι ενθαρρυντικά γιατί επιβεβαιώνουν τον ήδη γερασμένο αγροτικό πληθυσμό ενώ δεν προσδοκάται και σημαντική ανανέωση του. Επιπλέον, το 79% των παραγωγών ήταν κατά κύριο αγρότες, αριθμός που δεν διαφέρει πολύ από τον αντίστοιχο της ΕΣΥΕ (2007). Τέλος, σε κάθε εκμετάλλευση απασχολούνται 1,72 άτομα, αριθμός παρόμοιος σε σχέση με προηγούμενές μελέτες.

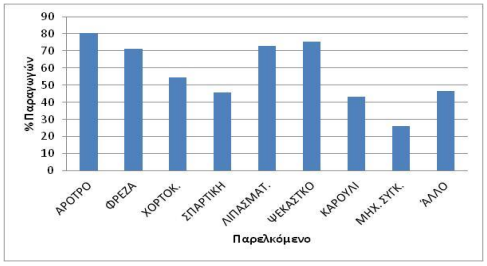
3.2 Δομή εκμεταλλεύσεων

Το πρόβλημα του κατακερματισμού της ελληνικής γης επιβεβαιώνεται για άλλη μια φορά με 17 αγροτεμάχια να αντιστοιχούν σε κάθε παραγωγό. Η μέση έκταση ανά εκμετάλλευση είναι περίπου 179 στρ., αριθμός που διαφέρει από τον αντίστοιχό της ΕΣΥΕ (2007) και αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το μεγαλύτερο μέρος των εκμεταλλεύσεων καλλιεργούνταν με μεγάλες καλλιέργειες αλλά και από το γεγονός ότι το 54% των παραγωγών ενοικιάζει επιπλέον εκτάσεις. Συγκεκριμένα, προέκυψαν 59801 στρ. μεγάλες καλλιέργειες (150 στρ./εκμ.), 7082 στρ. δενδρώδεις (36 στρ./εκμ.), 4431 στρ. κηπευτικά (47 στρ./εκμ.), 1378 στρ. αμπελώνες (19 στρ./εκμ.). Τέλος, παρατηρούμε ότι το μεγαλύτερος μέρος των παραγωγών (86%) απασχολείται με την διαχείριση δυο καλλιεργειών ανά έτος κυρίως μια εαρινή και μια χειμερινή άρα παρατηρείται έντονη εφαρμογή μονοκαλλιέργειας.

3.3 Εξοπλισμός γεωργικών εκμεταλλεύσεων

Η μέση ηλικία των γεωργικών ελκυστήρων διαμορφώνεται στα 20,5 έτη. Από το σύνολο του στόλου μόλις το 5,26% είναι σχετικά καινούργιο με λιγότερο από 10 έτη λειτουργίας. Ο αριθμός αυτός δεν διαφέρει σημαντικά από τα 22,4 έτη που παρουσιάστηκε από τους Βεντούρη και Τσακανίκα (2011) αλλά και πάλι επιβεβαιώνεται το γεγονός ότι ο στόλος είναι γερασμένος. Σε κάθε εκμετάλλευση αντιστοιχούν 1,5 ελκυστήρες αριθμός που πλησιάζει τους 1,11 από την ΕΣΥΕ (2006). Παρόλα αυτά, σε κάθε περίπτωση η χώρα απέχει αρκετά σε βαθμό εκμηχάνισης από αντίστοιχες χώρες της Ε.Ε.

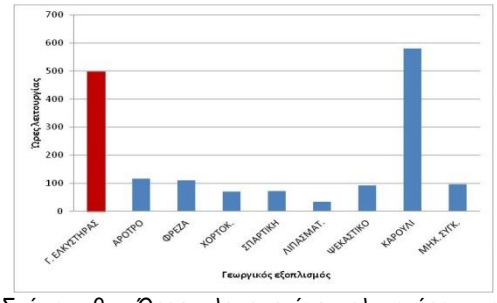
που διαμορφώνεται στους 2,8 ελκυστήρες ανά εκμετάλλευση. Η μέση ιπποδύναμη του στόλου διαμορφώνεται στους 84 hp, αριθμός που δεν διαφέρει από τα αποτελέσματα των Βεντούρη και Τσακανίκα (2011). Ενδιαφέρον παρουσίασε η κατάταξη της ισχύος ανάλογα με το είδος της καλλιέργειας και προέκυψαν στις μεγάλες καλλιέργειες ελκυστήρες με 97 hp, στις δενδρώδεις με 65 hp, στους αμπελώνες με 61 hp και στα κηπευτικά με 77 hp. Όσον αφορά στα αποτελέσματα που προέκυψαν από την κατοχή των παρελκόμενων τα μηχανήματα που έχουν οι περισσότεροι παραγωγοί είναι κατά σειρά το άροτρο, το ψεκαστικό, ο λιπασματοδιανομέας και η φρέζα (Σχήμα 1). Γενικά, οι παραγωγοί έχουν επαρκή μηχανήματα κατεργασίας και καλλιεργητικής φροντίδας δείχνοντας να τους ενδιαφέρει η έγκαιρη εκτέλεση αυτών των εργασιών.



Σχήμα 1: Κατοχή παρελκόμενων από τους παραγωγούς της έρευνας.

3.4 Διαχείριση Γεωργικού εξοπλισμού

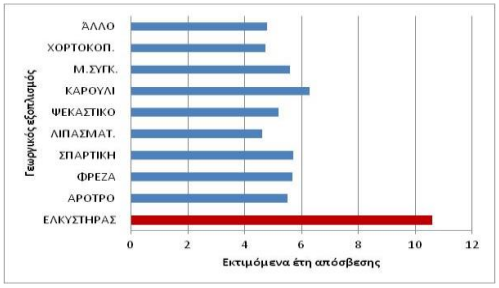
Μέσα από την έρευνα έγινε μια προσπάθεια να εκτιμηθούν οι ώρες λειτουργίας του ελκυστήρα και των παρελκόμενων. Το αποτέλεσμα για τον γεωργικό ελκυστήρα είναι 508 ώρες ανά έτος και δεν διαφέρει από προηγούμενες αναφορές (Σχήμα 2).



Σχήμα 2: Ώρες λειτουργίας ελκυστήρα και παρελκόμενων.

Όσον αφορά στα παρελκόμενα, οι ώρες ποικίλουν και αποτυπώνονται στο επόμενο σχήμα με τις περισσότερες των περιπτώσεων η ετήσια χρήση να μην ξεπερνά τις 100 ώρες. Μοναδική εξαίρεση αποτελεί το καρούλι για την πραγματοποίηση των αρδεύσεων.

Το κόστος συντήρησης και επισκευών διαμορφώνεται στα 1511 € ανά έτος. Ακόμα, παρατηρήθηκε ότι όσο αυξάνει η χρονολογία και η ιπποδύναμη του ελκυστήρα δεν αυξάνουν αντίστοιχα τα κόστη συντήρησης και επισκευών, καθώς δεν βρέθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ ηλικίας και ιπποδύναμης γεωργικού ελκυστήρα και κόστους επισκευών και συντήρησης. Η αλλαγή λαδιών κυρίως γίνεται από τον τοπικό μηχανικό κάθε 170 ώρες. Όσον αφορά την μετέπειτα αξιοποίηση των λαδιών υπάρχουν δύο επιλογές που διαμορφώθηκαν, από την μια ενθαρρυντικό είναι ότι οι περισσότεροι (36%) τα ανακυκλώνουν δείχνοντας σεβασμό προς το περιβάλλον ενώ υπάρχει και ένα σημαντικό ποσοστό (35%) που τα πετάει. Η εκτέλεση των επισκευών δεν γίνεται κατά κύριο λόγο μόνο από τον τοπικό μηχανικό αλλά και από τους ίδιους τους παραγωγούς και αυτό ίσως είναι ένας λόγος που διαμορφώνεται ένα υψηλό κόστος επισκευών και συντήρησης. Επιπλέον το 94% δήλωσε ικανοποιημένο με την εκτέλεση του service. Οι λόγοι επιλογής των παραπάνω είναι κυρίως οικονομικοί, εμπιστοσύνης και συνέπειας εκτέλεσης των ενεργειών. Ενδιαφέρον στοιχείο είναι η άποψη των παραγωγών για τα χρόνια που απαιτούνται για την απόσβεση του γεωργικού ελκυστήρα που κατέχουν και των παρελκόμενων μηχανημάτων. Για τον ελκυστήρα προκύπτουν 10,5 χρόνια ενώ για τα παρελκόμενα περίπου 5-6 έτη (Σχήμα 3).



Σχήμα 3: Εκτιμώμενα έτη απόσβεσης μηχανημάτων με βάση εκτίμηση των γεωργών.

Αυτό είναι αρκετά ενδιαφέρον, αφού η ετήσια χρήση είναι πολύ χαμηλή και με βάση τη βιβλιογραφία ένας γεωργικός ελκυστήρας με τέσσερις κινητήριους τροχούς θα πρέπει να δουλεύει περίπου 16.000 ώρες μέχρι την φυσική παλαίωσή του (ASABE, 2009). Ας δούμε όμως το κομμάτι των ωρών λειτουργίας και τα εκτιμώμενα έτη απόσβεσης με ένα αριθμητικό παράδειγμα που μπορεί να μεταφραστεί σε χρηματικούς παραμέτρους. Έστω ότι στο Θεσσαλικό κάμπο ένας παραγωγός καλλιεργεί 100 στρ. σιταριού και 79 στρ. βαμβακιού. Με μια μέση παραγωγή 300 κιλά/στρ. σε ευνοϊκές συνθήκες και στις δύο καλλιέργειες και μια τιμή πώλησης 0,40 λεπτά και 0,25 λεπτά ανά κιλό για βαμβάκι και σιτάρι αντίστοιχα διαμορφώνεται ένα ποσό στα 16980 € . Αν ο παραγωγός έχει δικαιώματα επιδότησης το ακαθάριστο εισόδημα διαμορφώνεται στα 26050 €

(146 € /στρ.). Έστω τώρα ότι έχει ένα ελκυστήρα 84 ίππων με 508 ώρες λειτουργίας και 10,5 έτη εκτιμώμενη απόσβεση όπως προκύπτουν από την παρούσα έρευνα. Το κόστος αγοράς ενός τέτοιου ελκυστήρα προσεγγίζει και ξεπερνά τα 45.000 € και έτσι με την μέθοδο της σταθερής απόσβεσης (Τσατσαρέλης, 2006) εκτιμάται ένα κόστος απόσβεσης 3857 € που μεταφράζεται σε 7,59 € /h και 21,55 € /στρ.. Ένα τέτοιο ποσό καταλαμβάνει το 15% της ακαθάριστης προσόδου. Αν τώρα έχουμε την περίπτωση του παραγωγού με την ίδια εκμετάλλευση, τον ίδιο ελκυστήρα αλλά ιδανικές ώρες λειτουργίας 1066 ώρες και 15 έτη απόσβεσης τότε διαμορφώνεται ένα ετήσιο κόστος απόσβεσης 2700 € που μεταφράζεται σε 5,31 € /h και 15,08 €/στρ. ενώ αντίστοιχα καταλαμβάνει το 10% της ακαθάριστης προσόδου. Η διαφορά των δύο περιπτώσεων είναι της τάξεως των 1157 € ετησίως (6,46 €/στρ.) και φανερώνει την χρηματική ζημία από λανθασμένη διαχείριση του εξοπλισμού. Ωστόσο, η επιλογή ενός ελκυστήρα συγκεκριμένης ισχύς επιφέρει και καθορισμένη κατανάλωση καυσίμου. Επιπλέον, ο παλαιωμένος στόλος και οι λανθασμένοι χειρισμοί επιβαρύνουν την εκμετάλλευση με διογκωμένο κόστος συντήρησης και επισκευών. Έτσι οι δύο αυτοί παράμετροι είναι προϊόντα λανθασμένης διαχείρισης εξοπλισμού. Έτσι αν συμπεριλάβουμε μαζί με το κόστος απόσβεσης τον υπολογισμό του κόστους κατανάλωσης καυσίμου (σύμφωνα με ASAE Standards) για ελκυστήρα 84 hp και του κόστους επισκευών και συντήρησης από τα στοιχεία της έρευνας τότε θα διαπιστώσουμε ότι σχεδόν το 50% της ακαθάριστης προσόδου καλύπτεται από χειρισμούς λανθασμένης διαχείρισης γεωργικού εξοπλισμού . Συγκεκριμένα για φορτίο λειτουργίας 25% φτάνει στο 45% ενώ για φορτίο 50% στα 55% διότι μεταβάλλεται η κατανάλωση καυσίμου. Ο παράγοντας συνεπώς της ετήσιας χρήσης γεωργικών μηχανημάτων και η προσπάθεια από τους Έλληνες αγρότες για τη συνειδητοποίηση της αναγκαιότητας αύξησης των ωρών λειτουργία τους είναι απαραίτητη.

Για να θεωρηθεί ένας ελκυστήρας παλιός για τους παραγωγούς πρέπει να έχουν περάσει τουλάχιστον 34 χρόνια λειτουργίας του, αριθμός που είναι ιδιαίτερα υψηλός. Συγκεκριμένα όσον αφορά την μετέπειτα αξιοποίηση τους, στα 31 έτη επιλέγουν να το πουλήσουν, στα 36 έτη να το ακινητοποιήσουν, στα 40 έτη να το χρησιμοποιούν για βοηθητικές εργασίες, στα 30 έτη να το ανταλλάξουν και στα 33 έτη να το προσφέρουν για ανταλλακτικά. Σημαντική λύση στις λίγες ετήσιες ώρες λειτουργίες του εξοπλισμού είναι η ενοικίαση. Το 43% των παραγωγών ενοικιάζει ξένα μηχανήματα για κάλυψη εργασιών με τις πιο βασικές εργασίες να είναι η συγκομιδή και η σπορά (το 68% των μηχανημάτων ενοικίασης). Αυτό είναι λογικό καθώς οι περισσότεροι παραγωγοί δεν κατέχουν τέτοια μηχανήματα. Το 97% πιστεύει όμως ότι συμφέρει να έχουν δικά τους μηχανήματα. Οι κύριοι λόγοι είναι ότι το κόστος αυξάνεται σημαντικά αν νοικιάσουν ξένα μηχανήματα και ότι μπορούν να έχουν έγκαιρες επεμβάσεις με δικά τους μηχανήματα. Σε πρώτη φάση ωστοσο θα μπορούσε να προταθεί κοινή κατοχή και χρήση από ομάδες παραγωγών σε μηχανήματα που αφορούν εργασίες συγκομιδή και σπορά και έτσι θα παρουσιάζονταν εκτός από συμπίεση του κόστους και αποτελεσματικότερη χρήση.

3.5 Επιλογή γεωργικού εξοπλισμού

Σημαντικές ήταν οι απαντήσεις για τα κριτήρια με τα οποία οι παραγωγοί επιλέγουν τον εξοπλισμό. Συγκεκριμένα το κύριο στοιχείο που καθορίζει τα μηχανήματα τους είναι η καλλιέργεια, ακολουθεί η αξιοπιστία του μηχανήματος, το κόστος αγοράς του, η κατανάλωση καυσίμου, το service, η δυνατότητα προσφορών, η διαθέσιμη τεχνολογία του και τελευταίο κριτήριο αποτελεί η δυνατότητα ενοικίασης του. Στο σημείο αυτό βλέπουμε ότι στοιχεία διαχείρισης όπως η ενοικίαση και η κατανάλωση καυσίμου δεν αποτελούν τα κύρια κριτήρια επιλογής.

Ακόμα, ρωτήθηκαν οι παραγωγοί από πού αντλούν πληροφορίες για την αγορά μηχανημάτων. Κυρίως συμβουλεύονται την αντιπροσωπεία, ακολουθεί ο γεωπόνος, ο τοπικός μηχανικός, γνωστοί-φίλοι και ένα μικρό ποσοστό παραγωγών ενημερώνεται από το διαδίκτυο.

Τέλος, με βάση κάποιες επιλογές που είχαν στην διάθεση τους οι παραγωγοί ρωτήθηκαν ποιο κριτήριο θεωρούν σημαντικότερο από άποψη εταιρείας για την αγορά μηχανημάτων. Πιο σπουδαίο χαρακτηρίστηκε η αξιοπιστία της εταιρίας, ακολούθησε η φερεγγυότητα της, η ανταπόκριση της σε περίπτωση βλάβης, η κατανάλωση καυσίμου, η εγγύηση αγοράς, το οργανωμένο σύστημα συντήρησης της, οι καινοτομίες και η γκάμα των προϊόντων που προσφέρει ενώ τελευταίο είναι ο τρόπος πληρωμής. Συμπερασματικά, για άλλη μια φορά επιβεβαιώνονται η χαμηλή προτεραιότητα σε επιλογές διαχείρισης εξοπλισμού όπως είναι η κατανάλωση καυσίμου και το δίκτυο συντήρησης.

3.6 Προοπτικές και ενδιαφέρον παραγωγών

Σε αντίστοιχη ερώτηση που τους τέθηκε, το 35% των παραγωγών δήλωσε ότι θα άλλαζε καλλιέργεια και ο κύριος και μοναδικός λόγος που θα το έκανε αυτό ήταν να του παρεχόταν ένα υψηλότερο κέρδος. Σε μια τέτοια περίπτωση πιστεύουν ότι ο ήδη υπάρχον εξοπλισμός θα τους κάλυπτε σε ποσοστό 78%. Αντίθετα, το 65% των ερωτηθέντων δήλωσε ότι δεν θα άλλαζε καλλιέργεια διότι δεν έχουν την δυνατότητα να αγοράσουν νέο εξοπλισμό, λόγω ηλικίας, λόγω ρίσκου για την απορρόφηση του νέου προϊόντος και λόγω έλλειψης ενημέρωσης. Από την άλλη, οι παραγωγοί

της έρευνας είναι ανοιχτοί στην χρήση νέων τεχνολογιών σε ποσοστό 66%. Το μεγαλύτερο ενδιαφέρον το έδειξαν οι ηλικίες από 36-45 έτη και στην συνέχεια ακολουθούσαν νέοι αγρότες 20-35 και το μικρότερο ενδιαφέρον οι άνω των 60. Συγκεκριμένα, θα προτιμούσαν τεχνολογίες κυρίως αυτόματου κιβώτιου ταχυτήτων, ηλεκτρικά και υδραυλικά συστήματα, ασφαλή καμπίνα, όπως και κλιματισμό. Από τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι παρόλο που έχουν την διάθεση να ασχοληθούν με την τεχνολογία, παρουσιάζουν ελλιπή ενημέρωση για τις τελευταίες εξελίξεις της στους γεωργικούς ελκυστήρες. Ωστόσο, υπήρχε ένα ικανοποιητικό ποσοστό που ανέφερε την πιθανή χρήση του GPS. Επιπρόσθετα, οι παραγωγοί έδειξαν σημαντικό ενδιαφέρον για σεμινάρια ενημέρωσης σε θέματα διαχείρισης γεωργικού εξοπλισμού σε ποσοστό 86% ενώ εξίσου ενθαρρυντικά ήταν τα αποτελέσματα και από άποψη διάθεσης χρηματοδότησης για αγορά νέου εξοπλισμού σε ποσοστό 87% (Πίνακας 1).

Πίνακας 1: Ενδιαφέρον των παραγωγών στην παρακολούθηση σεμιναρίων, στις νέες τεχνολογίες και στην χρηματοδότηση για την ανανέωση του στόλου

Ενδιαφέρον	ΝΑΙ	ΟΧΙ	ΜΠΟΡΕΙ
Σεμινάρια	86%	14%	-
Νέες Τεχνολογίες	66,26 %	22,48%	11,24%
Χρηματοδότηση	87%	13%	-

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από την έρευνα αυτή προέκυψε και επιβεβαιώθηκε το πρόβλημα της κακής διαχείρισης του γεωργικού εξοπλισμού που διαμορφώνει ένα υψηλό κόστος λειτουργίας. Τα κύρια ζητήματα που διαμορφώνουν αυτή την κατάσταση είναι ο ήδη απαρχαιωμένος στόλος και η λανθασμένη διαχείριση του. Οι χαμηλές ώρες λειτουργίας του εξοπλισμού θα μπορούσαν να αυξηθούν με αποτέλεσμα μια αποδοτικότερη χρήση με την επιλογή της ενοικίασης ή κοινής χρήσης αλλά το μεγαλύτερο μέρος των παραγωγών είναι αρνητικό στο ενδεχόμενο αυτό. Οι παραγωγοί ενδιαφέρονται για την έγκαιρη εκτέλεση των εργασιών τους και όχι για την κοινή χρήση μηχανημάτων. Ακόμα, παρατηρήθηκαν ελλείψεις πάνω σε θέματα διαχείρισης από το γεγονός ότι κριτήρια όπως η κατανάλωση καυσίμου και η συντήρηση δεν παίζουν σημαντικό ρόλο στην αγορά του εξοπλισμού. Προέκυψαν ωστόσο και ενθαρρυντικά στοιχεία όπως είναι η δεκτικότητα των παραγωγών σε σεμινάρια διαχείρισης και στην δυνατότητα ανανέωσης του στόλου μέσω χρηματοδότησης. Ακόμη, το μεγαλύτερο μέρος των αγροτών ενοικιάζει μηχανήματα συγκομιδής και σποράς και έτσι σε πρώτη φάση μπορεί να προταθεί κοινή κατοχή και αποτελεσματική χρήση τέτοιου εξοπλισμού σε ένα πλαίσιο ομάδας παραγωγών. Σε κάθε περίπτωση τα στοιχεία αυτά μπορούν αξιοποιηθούν με απαραίτητη προϋπόθεση η ενημέρωση σε θέματα διαχείρισης γεωργικού εξοπλισμού να προηγείται της δράσης χρηματοδότησης και ανανέωσης του στόλου ώστε να καταλήξουμε σε ορθολογικές επιλογές.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ASABE Standards, 2009. ASABE yearbook, ST. Joseph, Michigan, United States of America

Τσατσαρέλης Κ., 2006. *Διαχείριση γεωργικών μηχανημάτων*. Γιαχούδη, Θεσσαλονίκη.

Αμπατζίδης Ι.Γ., Ι.Α. Σπανομήτρος, Δ.Χ. Χατζημπεντέλης . 2009. *Μηχανικός εξοπλισμός των Ελληνικών γεωργικών εκμεταλλεύσεων*. 6ο Πανελλήνιο Συνέδριο Γεωργικής Μηχανικής, Οκτώβριος 2009, Θεσσαλονίκη

Αναγνωστόπουλος Δ.Β., Σ. Φουντάς, Θ. Γέμτος.. 2011. Διαχείρηση Γεωργικού Εξοπλισμού στην Ελλάδα: Έρευνα πεδίου 2011. **7ο** Πανελλήνιο Συνέδριο Γεωργικής Μηχανικής, Νοέμβριος 2009, Αθήνα

Παστόπουλος Σ., Σ. Φουντάς, Θ. Γέμτος.2009. *Έρευνα Πεδίου διαχείρισης Γεωργικού Εξοπλισμού*. 6ο Πανελλήνιο Συνέδριο Γεωργικής Μηχανικής, Οκτώβριος 2009, Θεσσαλονίκη

Γέμτος Θ.Α., Ν. Μπλάνας, Αθ. Νικάκης, Ε. Εξάρχου. 1998 *Σύνθεση του Γεωργικού Εξοπλισμού Γεωργικών Εκμεταλλεύσεων του Ν. Λαρίσης και Στοιχεία Αξιοποίησής του: Μελέτη σε Γεωργικές Εκμεταλεύσεις που εντάχθηκαν στο Κανονισμό 797/85*. Γεωτεχνικά Επιστημονικά Θέματα, τόμος 9 (2), 20-31.

Βεντούρης Ν., Α. Τσακανίκας. 2011.*Αγροτικά Μηχανήματα και Ανταγωνιστικότητα του Πρωτογενούς τομέα*. ΙΟΒΕ. Αθήνα

Εθνική Στατιστική Υπηρεσία, 2007. *Διάρθρωση Γεωργικών-Κτηνοτροφικών Εκμεταλλεύσεων*. Υπουργείο Εθνικής Οικονομίας και Οικονομικών.

Eurostat. 2005. *Structure of agricultural holding. Farm machinery: Number of farms and machines by size of farm (UAA).* http://epp.eurostat.ec.europa.eu

Food and Agriculture Organization – FAO, 2006. *Agricultural Statistic* www.fao.org

8^{Ο} ΕΘΝΙΚΟ ΣΥΝΕΔΡΙΟ ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ

ΕΔΑΦΙΚΟΙ ΠΟΡΟΙ

ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ, ΤΟΥ P, ΤΟΥ N ΚΑΙ ΖΙΖΑΝΙΟΚΤΟΝΟΥ ΣΤΗΝ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΩΝ ΦΥΚΩΝ ΟΡΥΖΩΝΩΝ ΚΑΙ ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΦΥΚΩΝ ΣΤΗ ΓΟΝΙΜΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ

Σωτηρία Κουκούλη[1], Νικολέτα Πετρίδου[2], Αθηνά Παυλάτου-Βε[1] και Σωτήριος Τσιούρης[2]
[1] Εργαστήριο Εδαφολογίας, Γεωπονική Σχολή, Α.Π.Θ
[2] Εργαστήριο Οικολογίας και Προστασίας Περιβάλλοντος, Γεωπονική Σχολή, Α.Π.Θ

Για τη μελέτη της επίδρασης του εδάφους, των λιπασμάτων και των ζιζανιοκτόνων στην ανάπτυξη των φυκών και τη μελέτη της επίδρασης των φυκών στη γονιμότητα του εδάφους, φύκη και νερό άρδευσης από την περιοχή των ορυζώνων του Ν. Θεσσαλονίκης τοποθετηθήκαν σε 16 δοχεία τα οποία διατηρήθηκαν σε εξωτερικό χώρο κοντά στους ορυζώνες. Στα δοχεία αυτά έγιναν τέσσερεις μεταχειρίσεις. Ως Μάρτυρας φυκών θεωρήθηκε η ποσότητα των φυκών που προστέθηκε στα δοχεία και ως Μάρτυρας εδάφους το αρχικό έδαφος το οποίο προστέθηκε στα δοχεία. Κάθε μεταχείριση αποτελούνταν από 4 δοχεία δύο εκ των οποίων περιείχαν έδαφος. Η πρώτη μεταχείριση αποτελούνταν από φύκη και νερό άρδευσης (Α) και φύκη, νερό άρδευσης και έδαφος (ΕΑ). Στην δεύτερη μεταχείριση έγινε προσθήκη αζώτου (ΑΝ, ΕΑΝ), στην τρίτη μεταχείριση έγινε προσθήκη φωσφόρου (ΑΡ, ΕΑΡ) και στην τέταρτη μεταχείριση έγινε προσθήκη ζιζανιοκτόνου (ΑΖ, ΕΑΖ). Στο τέλος του πειράματος παρατηρήθηκε σημαντική αύξηση της βιομάζας των φυκών στις μεταχειρίσεις ΑΝ, ΕΑΝ, ΑΡ και ΕΑΖ. Η προσθήκη εδάφους έπαιξε ρυθμιστικό ρόλο τόσο στην ανάπτυξη των φυκών όσο και στην ποιότητα του νερού κατάκλυσης. Στο έδαφος μετά το τέλος του πειράματος το pH ελαττώθηκε σε όλες τις μεταχειρίσεις σε σχέση με το pH του αρχικού εδάφους από 8,3 σε 7,7 ενώ η οργανική ουσία αυξήθηκε σε όλες της μεταχειρίσεις κατά 100% σε σχέση με το αρχικό έδαφος (1,5%). Η συγκέντρωση των NO_3^- και των NH_4^+ του εδάφους αυξήθηκε κατά 50% σε όλες τις μεταχειρίσεις. Αύξηση παρατηρήθηκε στον διαθέσιμο P στην μεταχείριση που είχε προστεθεί P.

Λέξεις κλειδιά: φύκη ορυζώνων, βιομάζα φυκών, ανάπτυξη φυκών, γονιμότητα εδάφους

STUDY OF THE EFFECT OF SOIL, P, N AND HERBICIDES ON THE ALGAL GROWTH OF RICE FIELDS AND THE EFFECT OF ALGAE ON SOIL FERTILITY

Sotiria Koukouli[1], Nicoleta Petridou[2], Athena Pavlatou-Ve[1] and Sotirios Tsiouris[2]
[1] Soil Science Laboratory, Agricultural School, AUTH, 541 24 Thessaloniki, ave@agro.auth.gr
[2] Laboratory of Ecology and Environment Protection, Agricultural School, AUTH, 541 24 Thessaloniki, stsiouri@agro.auth.gr

For the study of the effect of soil, fertilizers and herbicides on algal growth and the study of the effect of algae on soil fertility, algae and irrigation water from rice fields of the prefecture of Thessaloniki were placed in 16 containers which were maintained outdoors in close proximity to the rice fields. The containers were subjected to four treatments. As Control of algae was considered the amount of algae added in the containers and as Control of soil the initial soil added in the containers. Each treatment consisted of 4 containers 2 of which contained soil. The first treatment consisted of algae and irrigation water (A) and algae, irrigation water and soil (EA). For the second treatment nitrogen was added (AN, EAN), for the third treatment phosphorus (AP, EAP) and for the fourth treatment herbicide was applied (AZ, EAZ). At the end of the experiments the results showed that the dry weight of algae in the irrigation water was increased statistically in treatments AN, EAN, AP and και EAZ. The addition of soil had an important role in algal growth as well as in the irrigation water quality. The pH of the soil was decreased in all treatments compared to the pH of the initial soil from 8,3 to 7,7 while organic matter was increased by 100% in all treatments compared to the initial soil (1.5%). NO_3^- and NH_4^+ concentration of the soil was increased by 50% in all treatments. An increase was also observed in the available P upon P addition.

Keywords: rice field algae, algal biomass, algal growth, soil fertility

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ανάπτυξη των φυκών εξαρτάται από τη συγκέντρωση των θρεπτικών στοιχείων στο νερό κατάκλυσης, από το φως και από τη θερμοκρασία του νερού (Bowie et al, 1985; Anastacio et al., 1999; Ασχονίτης, 2007; Antonopoulos, 2010). Η παρουσία των φυκών στην καλλιέργεια του ρυζιού έχει πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Ένα από τα μειονεκτήματα είναι ότι ενίοτε τα φύκη σχηματίζουν ένα πυκνό στρώμα στην επιφάνεια του νερού το οποίο αποτρέπει τη δίοδο του φωτός στο νερό του ορυζώνα, μειώνοντας έτσι την φωτοσύνθεση των νεαρών φυταρίων του ρυζιού. Το γεγονός αυτό οδηγεί τους γεωργούς στην εφαρμογή κατάλληλων ζιζανιοκτόνων για την καταπολέμηση όχι μόνο των υδρόβιων μακρόφυτων ζιζανίων του ορυζώνα αλλά και των φυκών.

Η παρούσα μελέτη αποτελεί ένα προκαταρκτικό πείραμα ανάπτυξης των φυκών στους ορυζώνες του Δέλτα του Αξιού στη Β. Ελλάδα. Ο σκοπός της μελέτης ήταν η επίδραση του εδάφους, των λιπασμάτων και των ζιζανιοκτόνων στην ανάπτυξη των φυκών και η επίδραση των φυκών στις ιδιότητες του εδάφους σε ελεγχόμενες συνθήκες.

2.ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Για τη μελέτη αυτή, 40 g φυκών και νερό άρδευσης από την περιοχή των ορυζώνων της Χαλάστρας του Ν. Θεσσαλονίκης τοποθετηθήκαν σε 16 δοχεία των 2L. Στα δοχεία αυτά έγιναν τέσσερεις μεταχειρίσεις. Κάθε μεταχείριση αποτελούνταν από 4 δοχεία, τα δύο εκ των οποίων περιείχαν έδαφος (70g). Η πρώτη μεταχείριση αποτελούνταν από φύκη (40 g) και νερό άρδευσης (1,5 L) (Α) και έδαφος, φύκη και νερό άρδευσης (ΕΑ). Οι υπόλοιπες μεταχειρίσεις είχαν την ίδια διάταξη με την πρώτη αλλά στη δεύτερη μεταχείριση έγινε προσθήκη 10 ppm αζώτου (ΑΝ, ΕΑΝ), στην τρίτη μεταχείριση έγινε προσθήκη 10 ppm φωσφόρου (ΑΡ, ΕΑΡ) και στην τέταρτη μεταχείριση έγινε προσθήκη 2mL ζιζανιοκτόνου (ΑΖ, ΕΑΖ). Τα δοχεία διατηρήθηκαν σε εξωτερικό χώρο κοντά στους ορυζώνες. Ως Μάρτυρας φυκών θεωρήθηκε η ποσότητα των φυκών που προστέθηκε στα δοχεία και ως Μάρτυρας εδάφους το αρχικό έδαφος το οποίο προστέθηκε στα δοχεία.

Τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του εδάφους που χρησιμοποιήθηκε παρουσιάζονται στον Πίνακα 1.

Το πείραμα διήρκεσε 15 ήμερες και στο τέλος της επώασης πραγματοποιήθηκαν οι εξής προσδιορισμοί:

Στη βιομάζα των φυκών προσδιορίσθηκαν η υγρασία, το βάρος της ξηρής βιομάζας, το ολικό άζωτο με τη μέθοδο Kjeldahl και τα P, K, Mg, Na και Ca μετά από καύση (Jones and Case, 1990).

Στο νερό κατάκλυσης προσδιορίσθηκαν το pH, η EC_{25^oC} , τα στοιχεία K^+, Na^+, Ca^{+2} και Mg^{+2}, το NO_3-N (Norman et al., 1985), το NH_4-N (Mulvaney, 1996) και ο P (μέθοδος του ασκορβικού οξέος) χρωματομετρικά.

Στο έδαφος έγινε προσδιορισμός του pH (H_2O 1:2,5), του διαθέσιμου P (Olsen et al., 1954), των ανταλλάξιμων κατιόντων K^+, Ca^{+2}, Mg^{+2} και Na^+ με τη μέθοδο του οξικού αμμωνίου (Thomas, 1982) , του NO_3-N (Norman et al., 1985) και του NH_4-N (Mulvaney, 1996), της οργανικής ουσίας με τη μέθοδο της υγρής οξείδωσης (Walkley and Black, 1934) και του $CaCO_3$ με τη μέθοδο του ασβεστομέτρου (Allison and Moodie, 1965).

Στα πειραματικά αποτελέσματα εφαρμόσθηκε ANOVA με κριτήριο (LSD) σε $P< 0,05$ για την εύρεση στατιστικά σημαντικών διαφορών μεταξύ των πειραματικών δεδομένων.

Πίνακας 1. Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του εδάφους.

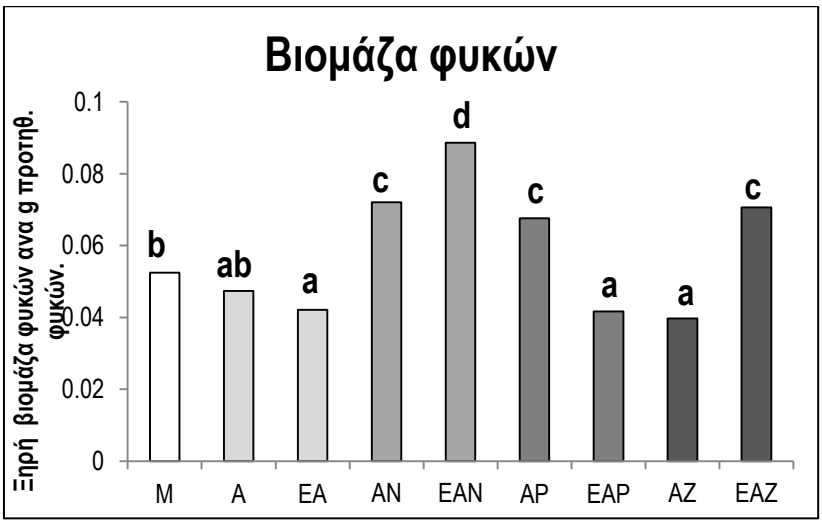
Μηχανική Σύσταση Εδάφους			**pH (H_2O)**	**$CaCO_3$**	**Οργ. ουσ.**	**Ανταλ. κατιόντα. ($cmol_c$/kg)**				**P**	**NO_3^-**	**NH_4^+**
άμμος %	ιλύς %	αργιλ %.		(%)	(%)	K^+	Na^+	Ca^{+2}	Mg^{+2}	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)
37,7	35,4	26,9	8,3	6,16	1,49	1,15	0,71	27,5	4,55	35,74	90,57	14,03

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Από το Σχήμα 1 φαίνεται ότι η βιομάζα των φυκών αυξήθηκε στις μεταχειρίσεις ΑΝ, ΕΑΝ, ΑΡ και ΕΑΖ σε σχέση με το αρχικό προστιθέμενο βάρος (Μ) των φυκών στα δοχεία. Μεταξύ των μεταχειρίσεων η προσθήκη 10 ppm N (ΑΝ) και P (ΑΡ) στο νερό κατάκλυσης αύξησε τη βιομάζα των φυκών κατά 38% και 31% αντίστοιχα σε σχέση με τον Μάρτυρα (Μ) ενώ η προσθήκη ζιζανιοκτόνου (ΑΖ) μείωσε την ανάπτυξη της βιομάζας των φυκών. Η παρουσία εδάφους επηρέασε την ανάπτυξη της βιομάζας στις μεταχειρίσεις ΕΑΝ, ΕΑΡ και ΕΑΖ. Στη μεταχείριση ΕΑΝ το έδαφος φαίνεται ότι αύξησε, όχι στατιστικά σημαντικά, επιπλέον τη συγκέντρωση των NO_3^- του νερού κατάκλυσης (Πίνακας 2) με αποτέλεσμα την αύξηση της βιομάζας κατά 71 % σε σχέση με τον Μάρτυρα (Μ). Στην μεταχείριση ΕΑΡ το έδαφος προσρόφησε τον προστιθέμενο P (Πίνακας 3) με αποτέλεσμα η συγκέντρωση του εναπομείναντα P στο νερό κατάκλυσης να μην είναι αρκετή για την αύξηση της βιομάζας των φυκών. Στην μεταχείριση ΕΑΖ το έδαφος προσρόφησε το προστιθέμενο ζιζανιοκτόνο κάνοντάς το ανενεργό για τα φύκη τα οποία αύξησαν κατά 36 % τη βιομάζα τους.

Στο νερό κατάκλυσης (Πίνακας 2), το έδαφος έπαιξε ρυθμιστικό ρόλο στο pH του νερού διατηρώντας το στα ίδια σχεδόν επίπεδα με την μεταχείριση Α. Παρατηρήθηκε αύξηση της θολότητας στις μεταχειρίσεις ΕΑΡ και ΕΑΖ που πιθανόν να οφείλεται στην αύξηση της EC στις μεταχειρίσεις αυτές.

Στον Πίνακα 3 φαίνονται τα χημικά χαρακτηριστικά του εδάφους στο τέλος του πειράματος. Παρατηρήθηκε σημαντική αύξηση της οργανικής ουσίας σε όλες τις μεταχειρίσεις σε σχέση με τον Μάρτυρα (Μ). Επίσης αυξήθηκαν σημαντικά τα NO_3^- και τα NH_4^+ σε όλες τις μεταχειρίσεις. Ο διαθέσιμος P αυξήθηκε σημαντικά στις ΕΑ και ΕΑΡ μεταχειρίσεις. Αύξηση στατιστικά σημαντική παρατηρήθηκε και στα ανταλλάξιμα ιόντα του Na στις ΕΑΝ, ΕΑΡ και ΕΑΖ μεταχειρίσεις (Πίνακας 3).



Σχήμα 1. Βιομάζα των φυκών μετά το τέλος του πειράματος για τις 8 μεταχειρίσεις.

Πίνακας 2. Τιμές χημικών χαρακτηριστικών του νερού για τις 8 μεταχειρίσεις.

Μεταχειρίσεις	pH	EC (mS/cm)	NO_3^- (meq/L)	NH_4^+ (meq/L)	CO_3^{-2} (meq/L)	HCO_3^{-1} (meq/L)	Cl^- (meq/L)	Θολότητα (%)
A	8,7c	521ab	0,125a	0,040a	0,40ab	2,7ab	2,50a	7,00a
EA	8,4bc	530ab	0,142a	0,041a	0,25a	1,8a	2,35a	5,65a
AN	8,9d	612ab	0,119a	0,045a	0,45ab	3,0b	2,45a	3,05a
EAN	8,5c	515a	0,191a	0,043a	0,40a	1,8a	2,65a	5,25a
AP	9,6e	642ab	0,132a	0,091c	0,50ab	3,7bc	2,55a	3,70a
EAP	8,1ab	875cd	0,239a	0,070b	0,55ab	3,5bc	4,35b	25,75c
AZ	9,0d	718bc	1,158b	0,077bc	0,50ab	3,9bc	2,90a	15,65b
EAZ	7,9a	1040d	0,260a	0,093c	0,80a	4,3c	4,85b	27,50c

**Τιμές μέσα στην ίδια ιδιότητα που χαρακτηρίζονται με το ίδιο γράμμα δεν διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά*

Πίνακας 3. Τιμές χημικών χαρακτηριστικών του εδάφους για τις 4 μεταχειρίσεις.

Μεταχειρίσεις	pH (H_2O)	Ανταλλάξιμα κατιόντα (cmol/Kg)				NO_3^- (mg/kg)	NH_4^+ (mg/kg)	P (mg/kg)	Οργ. ουσία (% κ.β.)
		K^+	Na^+	Ca^{+2}	Mg^{+2}				
Μ-Έδαφος	8,3b	1,15a	0,71a	27,50a	4,55a	90,6a	14,0a	35,7a	1,49a
EA	7,8a	1,30a	1,30ab	21,68a	3,99a	145,4b	23,8b	42,5b	3,00b
EAN	7,7a	1,95a	2,09c	27,69a	4,84a	188,8c	37,4c	39,8ab	3,13b
EAP	7,7a	1,74a	1,76bc	23,11a	4,31a	148,0b	23,8b	88,6c	3,99c
EAZ	7,5a	1,97a	1,96bc	23,55a	4,47a	138,6b	21,7b	40,2ab	3,06b

**Τιμές μέσα στην ίδια ιδιότητα που χαρακτηρίζονται με το ίδιο γράμμα δεν διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά*

4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Η βιομάζα των φυκών αυξήθηκε με την προσθήκη N και P στο νερό κατάκλυσης κατά 38% και 31% αντίστοιχα σε σχέση με τον Μάρτυρα (M). Αύξηση της βιομάζας των φυκών παρατήρησαν και οι Πετρίδου κ.α. (2012) σε ορυζώνες του N. Θεσσαλονίκης και βρήκαν στενή σχέση μεταξύ της αύξησης των φυκών και της συγκέντρωσης των NO_3^- του νερού κατάκλυσης ενώ ο Kimura (2005) βρήκε πως το N ως λίπανση δεν είχε ξεκάθαρη επίδραση στην αύξηση της βιομάζας των φυκών. Στην παρούσα μελέτη αύξηση της βιομάζας των φυκών παρατηρήθηκε με την προσθήκη P στο νερό κατάκλυσης ενώ δεν παρατηρήθηκε αύξηση παρουσία εδάφους (P-Olsen) όπως αναφέρουν και οι Πετρίδου κ.α. (2012) και ο Kimura (2005). Η παρουσία ζιζανιοκτόνου στο έδαφος αύξησε σημαντικά την βιομάζα των φυκών.

Στο έδαφος η οργανική ουσία αυξήθηκε από 1,49% σε 3 % περίπου σε όλες τις μεταχειρίσεις (Πίνακας 3). Αυτό οφείλεται στον μικρότερο ρυθμό αποσύνθεσής της λόγω αναγωγικών συνθηκών αλλά και στην αύξηση της νεκρής βιομάζας των φυκών. Στα ίδια συμπεράσματα κατέληξε και η Αλαμάνου (2008) όταν μελέτησε την μικροβιακή δραστηριότητα του εδάφους των ορυζώνων κατά την περίοδο κατάκλυσης. Αύξηση των NO_3^- και NH_4^+ στο έδαφος παρατηρήθηκε σε όλες τις μεταχειρίσεις με μεγαλύτερη αύξηση στην μεταχείριση EAN. Αύξηση των NO_3^- και NH_4^+ στο έδαφος βρήκε και ο Bilal (1977) σε πειράματα που έκανε στο εργαστήριο την οποία απέδωσε στην μεταβολή του οξειδο-αναγωγικού δυναμικού που επικρατεί στα υπό κατάκλυση εδάφη. Παρατηρήθηκε μικρή μη σημαντική αύξηση του διαθέσιμου P στις EAN και EAZ και σημαντική αύξηση στις EA και EAP μεταχειρίσεις. Οι Πετρίδου κ.α. (2012) και ο Kimura (2005) βρήκαν σε πειράματα που έκαναν σε συνθήκες αγρού ότι η συγκέντρωση του P της βιομάζας των φυκών είχε ισχυρή γραμμική συσχέτιση ($P<0,05$) με την συγκέντρωση του διαθέσιμου P του εδάφους (P-Olsen). Στην παρούσα μελέτη δεν φαίνεται να υπάρχει σχέση μεταξύ του διαθέσιμου P και της βιομάζας των φυκών.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- Η βιομάζα των φυκών αυξήθηκε με αύξηση της συγκέντρωσης N, P στο νερό κατάκλυσης (δίχως έδαφος). Παρουσία εδάφους, μόνο η αύξηση της συγκέντρωσης του N προκάλεσε αύξηση της βιομάζας των φυκών.
- Η προσθήκη ζιζανιοκτόνου στο νερό κατάκλυσης ελάπτωσε την βιομάζα των φυκών ενώ η παρουσία εδάφους αύξησε την βιομάζα
- Το έδαφος έπαιξε ρυθμιστικό ρόλο στο pH του νερού κατάκλυσης αλλά και το έδαφος διατήρησε το ιδιο pH σε όλες τις μεταχειρίσεις.
- Η παρουσία των φυκών αύξησε την οργανική ουσία του εδάφους. Η αυξηση αυτή ήταν μεγαλύτερη όταν ο διαθέσιμος P ήταν αρκετά υψηλός.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Anastasio, P.M., Nielsen, S.N., Frias, A.F., Marques, J.C., 1999. CRISP crayfish and rice integrated system of production, 4. Modelling water algae and oxygen dynamics.. Ecol. Model., 123: 29-40

Antonopoulos, V., 2010. Modelling of water and nitrogen balances in ponded water and soil profile of rice fields in Northern Greece. Agricultural Water management, 98: 321-330

Bilal, I., 1977. Transformations and Trasport of NH_4-N in a Flooded Soil. Z.Pflanzenernaehr. Bodenkd., 140:199-207.

Kimura M., 2005. Populations, Community Composition and Biomass of Aquatic Organismms in the Floodwater of Rice Fields and Effects of Field Management. Soil Sci. Plant Nutr., 51:159-181.

Norman, R.J., Edberg, J.C., Stucki, J.W., 1985. Determination of Nitrate in Soil Extracts by Dual-wavelength Ultraviolet Spectrophotometry. Soil Sci. Soc. Am. J., 49: 1182-1185

Walkley, A., and Black, I. A.. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Science, 37: 29-38.

Allison, L. E., and Moodie, C. D., 1965. Carbonate. pp. 1379-1396. *In* Black et al. (ed) Methods of soil analysis Part 2 -Chemical and microbiological properties. Agronomy 9. ASA, SSSA, Madison, WI.

Ασχονίτης, Β., 2007. Τροποποίηση του Μοντέλου GLEAMS V3.0 για την εκτίμηση του ισοζυγίου νερού και Αζώτου σε ορυζώνες. Μεταπτυχιακή διατριβή Γεωπονική Σχολή ΑΠΘ

Bowie, G., Mills, W., Porcella, D., Campbell, C., Pagenkop, J., Rupp, G., Johnson, K., Chan, P., Gherini, S., 1985. Rates, constants, and Kinetics formulations in surface water Quality Modeling. Tetra Tech, Incorporated Lafayette, California 94549.

Jones Benton, J. Jr., and Case, V. W., 1990. Sampling, handling and analyzing plant tissue samples. *In* Soil testing and plant analysis. 3rd ed. R. L. Westerman (ed) Soil Sci. Soc. Am. Madison, WI, USA

Mulvaney, R.L., 1996. Nitrogen-Inorganic forms. p. 1123-1184. *In* D. L. Sparks et. Al. (ed) Methods of soil analysis. Part 3. SSSA Book. Ser. 5. SSSA. Madison, WI.

Olsen, S. R., Cole, C. V., Watanabe, F. S., Dean, L. A., 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. U. S. Dept. Agr. Circ.

Thomas, G. W., 1982. Exchangeable cations. pp 159-164. In D. R. Keeney (ed.) Methods of soil analysis. 2nd ed. SSSA, Madison, WI.

Αλαμάνου, Μ., 2008. Η διακύμανση της μικροβιακής δραστηριότητας σε ορυζώνες κατά τη διάρκεια

της καλλιεργητικής περιόδου. Μεταπτυχιακή διατριβή Γεωπονική Σχολή ΑΠΘ..

Πετρίδου, Ν., Κουκούλη, Σ., Παυλάτου-Βε, Α., Τσιούρης, Σ., 2012 Μελέτη της ανάπτυξης των φυκών σε έναν ορυζώνα και η επίδρασή τους στη γονιμότητα του εδάφους. 1/2-11-2012. 14ο Πανελλήνιο εδαφολογικό συνέδριο. Τελλόγλειο ίδρυμα Τεχνών Α.Π.Θ. Θεσσαλονίκη.

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΙΛΥΟΣ ΒΙΟΛΟΓΙΚΟΥ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΑΝΟΡΓΑΝΗΣ ΛΙΠΑΝΣΗΣ ΣΤΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΙΑΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ ΑΡΑΒΟΣΙΤΟΥ

Ι. Διαμαντούλης και Β. Αντωνιάδης
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, Οδός Φυτόκου, 384 46, Ν. Ιωνία, Μαγνησία. Email. antoniadis@uth.gr

Η ιλύς βιολογικού καθαρισμού (ΙΒΚ) μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως υποκατάστατο του συμβατικού ανόργανου λιπάσματος (Λ) ακόμα και σε καλλιέργειες υψηλών αποδόσεων, όπως είναι ο αραβόσιτος (*Zea mays*). Για αυτό το λόγο σε περιοχή της Λάρισας έγινε πείραμα με μεταχειρίσεις ΙΒΚ (δόση 20 t ha^{-1}, σύμφωνα με τις προδιαγραφές της ΔΕΥΑ Λάρισας) και Λ (χορήγηση 164 kg N και 40 kg P_2O_5 ha^{-1}). Μετρήθηκε η δυναμική του αζώτου στο έδαφος, όπως και τα μακρο- και ιχνοστοιχεία σε έδαφος και φυτό. Βρέθηκε ότι το NO_3-N του εδάφους δεν είχε σημαντικές διαφορές μεταξύ των δύο μεταχειρίσεων, ενώ το NH_4-N ήταν σημαντικά υψηλότερο στο Λ, κάτι που δείχνει ότι έγινε καλύτερη οικονομία Ν στην ΙΒΚ. Τα υπόλοιπα χημικά χαρακτηριστικά σε έδαφος και φυτό (περιεκτικότητα σε μακρο- και μικροθρεπτικά) δεν διέφεραν σημαντικά, αλλά ούτε και τα φυτοκομικά χαρακτηριστικά (ξηρό βάρος σπόρων, ύψος φυτών κτλ.). Αξίζει να σημειωθεί ότι με τις σχετικά χαμηλές χορηγήσεις του Ν σε ΙΒΚ και Λ, οι αποδόσεις σπόρου ήταν χαμηλές (της τάξης των 1450 kg $στρ^{-1}$) σε σχέση με τις αναμενόμενες σοδειές σε παρόμοιες συνθήκες.

Λέξεις κλειδιά: λίπανση, θρεπτικά, απόδοση αραβοσίτου

COMPARISON BETWEEN THE EFFECTS OF APPLICATION OF SEWAGE SLUDGE AND INORGANIC FERTILIZER IN MAIZE CHARACTERISTICS

I. Diamantoulis and V. Antoniadis
Laboratory of Soil Science, Department of Agriculture Crop Production and Rural Environment, University of Thessaly, Fytokou Street, N. Ionia, GR-38446, Volos, Greece.

Sewage sludge (SS) may substitute conventional inorganic fertilizers (IF) even in high-yield crops, such as maize (*Zea mays*). For this reason in the Larissa area we conducted an experiment with SS (applied at a low rate of 20 t ha^{-1}) and IF (applied at 164 kg N ha^{-1} and 40 kg P_2O_5 ha^{-1}), where we measured soil N dynamics, as well as macro- and micronutrient levels in soil and plant. We found that soil NO_3-N did not differ significantly between the two treatments, while NH_4-N was significantly higher at IF. This indicates that N was better utilized at SS. None of the other chemical soil and plant properties differed significantly between the two treatments, neither did we find any differences between treatments in other studied physical plant characteristics (dry seed weight, plant height etc.). It should also be mentioned that we obtained relatively low yields with the specific N application in this experiment at both SS and IF (1.45 t ha^{-1}) compared to the expected yield in the same area.

Key words: Fertilization, nutrients, maize yield

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ιλύς βιολογικού καθαρισμού (ΙΒΚ) έχει χρησιμοποιηθεί πολλές φορές ως οργανικό λίπασμα, γιατί αποτελεί πηγή θρεπτικών στοιχείων και οργανικής ουσίας. Έχει όμως κυρίως χρησιμοποιηθεί σε πειράματα, καθώς η ευρεία της χρήση θεωρείται προβληματική, λόγω της ύπαρξης παθογόνων μικροοργανισμών και της πιθανής περιεκτικότητάς της σε βαρέα μέταλλα (Sukreeyapongse *et al*., 2002).

Ο αραβόσιτος (*Zea mays*) είναι μια καλλιέργεια υψηλών αποδόσεων, με μεγάλες απαιτήσεις σε θρεπτικά στοιχεία. Για αυτό τυχόν αντικατάσταση μέρους των συμβατικών ανόργανων λιπασμάτων (Λ) που απαιτούνται, με οργανικά υλικά, όπως η ΙΒΚ, θα είναι ιδιαίτερα επωφελής για τους παραγωγούς. Ενώ η ΙΒΚ έχει χρησιμοποιηθεί σε πειράματα με αραβόσιτο, οι δόσεις εφαρμογής της στον αγρό είναι ιδιαίτερα υψηλές, σε σχέση με τις πραγματικές ανάγκες σε Ν και λοιπά θρεπτικά (Samaras *et al*., 2008).

Σκοπός της εργασίας ήταν η σύγκριση δύο πηγών θρεπτικών στοιχείων σε καλλιέργεια αραβοσίτου, ΙΒΚ και ανόργανου λιπάσματος, τα οποία προστέθηκαν έτσι ώστε να χορηγήσουν ίσες ποσότητες Ν, στη δυναμική Ν και λοιπών θρεπτικών στο έδαφος και στο φυτό, καθώς και στα φυτοκομικά χαρακτηριστικά της καλλιέργειας.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

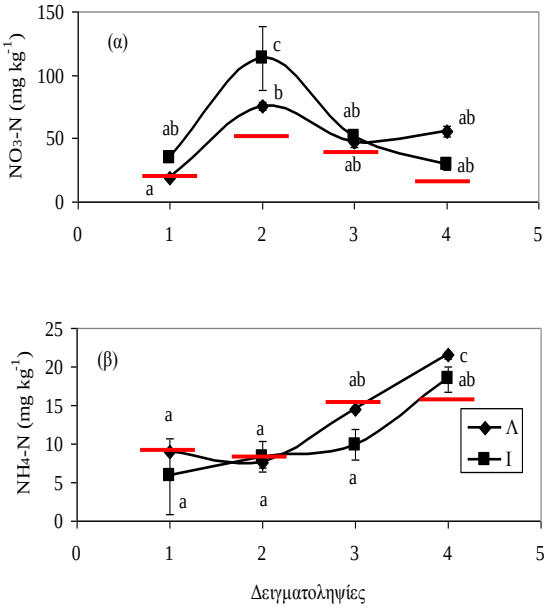
Σε αγρό στη Γιάννουλη Λάρισας εγκαταστάθηκε καλλιέργεια αραβόσιτου. Στον αγρό έγιναν αναλύσεις χαρακτηρισμού του εδάφους (Πίνακας 1). Κατόπιν ο αγρός χωρίστηκε σε 3 μεγάλα κομμάτια ενός στρέμματος έκαστο. Στο πρώτο (Λ) εφαρμόστηκαν 16,4 kg N $στρ^{-1}$ (12 kg N $στρ^{-1}$ βασική λίπανση με χορήγηση λιπάσματος με τίτλο 30-10-0, και 4,6 kg N $στρ^{-1}$ με υδρολίπανση με ουρία, 46-0-0). Επίσης εφαρμόστηκαν και 4 kg P_2O_5 $στρ^{-1}$ με το μικτό λίπασμα 30-10-0 που προαναφέρθηκε, ενώ Κ δεν προστέθηκε γιατί βρέθηκε ότι το έδαφος είχε επαρκή επίπεδα.

Πίνακας 1. Χαρακτηριστικές φυσικές και χημικές ιδιότητες εδαφών και ιλύος βιολογικού καθαρισμού του πειράματος.

	Έδαφος	IBK
Άργιλος (%)	39	-
Ιλύς (%)	2	-
Άμμος (%)	60	-
Υφή	SC[a]	-
pH[b]	7,98	6,76
pH[c]	7,40	-
EC (μS cm^{-1})	554	-
$CaCO_3$ (%)	0,26	-
OM[b] (%)	0,98	36,65
OM[c] (%)	2,00	-
Ολικός Cu[b] (mg kg^{-1})	49,81	-
Ολικός Cu[c] (mg kg^{-1})	13,57	157,63
Ολικό Cr[b] (mg kg^{-1})	83,38	42,86
Ολικό Cr[c] (mg kg^{-1})	109,67	-
Ολικό Ni[b] (mg kg^{-1})	116,95	274,73
Ολικό Ni[c] (mg kg^{-1})	163,52	-
Ολικός Zn[b] (mg kg^{-1})	55,92	112,48
Ολικός Zn[c] (mg kg^{-1})	62,97	-
Ολικός Fe[b] (mg kg^{-1})	10079	9444
Ολικός Fe[c] (mg kg^{-1})	8612	-
Ολικό Mn[b] (mg kg^{-1})	856,91	177,98
Ολικό Mn[c] (mg kg^{-1})	800,53	-
Ολικό N (%)	-	0,935
NH_4-N (mg kg^{-1})	-	728

a: Sandy clay, αμμο-αργιλώδες. b: Πριν από την εφαρμογή IBK. c: Μετά από την εφαρμογή IBK.

Στο δεύτερο εφαρμόστηκε IBK (στο εξής ονομάζεται Ι) σε 2 t $στρ^{-1}$ ξηρής ουσίας, προερχόμενη από το βιολογικό καθαρισμό Λάρισας. Η εφαρμογή έγινε αφού προηγήθηκε ανάλυση δείγματος IBK για N κατά Kjeldahl, οργανικό C, υγρασία, και επίπεδα ιχνοστοιχείων (Πίνακας 1). Το τρίτο ήταν ο μάρτυρας όπου δεν προστέθηκε κανένα υλικό. Κατόπιν ο αγρός σπάρθηκε με αραβόσιτο, σύμφωνα με τις συνήθεις προδιαγραφές, στις 26-3-2012. Έγιναν 4 δειγματοληψίες. Τα εδαφικά και φυτικά δείγματα λαμβάνονταν από 3 καθορισμένα σημεία σε κάθε μεταχείριση που απείχαν μεταξύ τους ικανή απόσταση, έτσι ώστε να διασφαλίζεται η αντιπροσωπευτικότητα. Η πρώτη δειγματοληψία (Δ1) έγινε στις 22-3-2012, η δεύτερη (Δ2) στις 4-6-2012, η τρίτη (Δ3) στις 10-7-12 και η τέταρτη (Δ4) στις 23-9-2012, ημέρα της συγκομιδής της καλλιέργειας. Στην Δ1 έγιναν εδαφικές αναλύσεις για ανόργανο N (NH_4- και NO_3-N), Olsen-P, ανταλλάξιμο K, ιχνοστοιχεία με DTPA και ιχνοστοιχεία με *aqua regia*. Στην Δ2 ελήφθησαν φυτικά δείγματα για αναλύσεις φυλλοδιαγνωστικής (N, P, K, Ca, Mg, Zn, Cu, Fe και Mn), ενώ στο έδαφος μετρήθηκε ανόργανο N. Στην Δ3 μετρήθηκε ανόργανο N, ενώ στην Δ4 μετρήθηκαν τα φυτοκομικά χαρακτηριστικά του αραβόσιτου, έγιναν οι αναλύσεις των παραπάνω θρεπτικών σε όλα τα υπέργεια τμήματα του φυτού ξεχωριστά (φύλλα, στελέχη, σπόροι) και στο έδαφος έγιναν αναλύσεις ίδιες με αυτές στην Δ1.



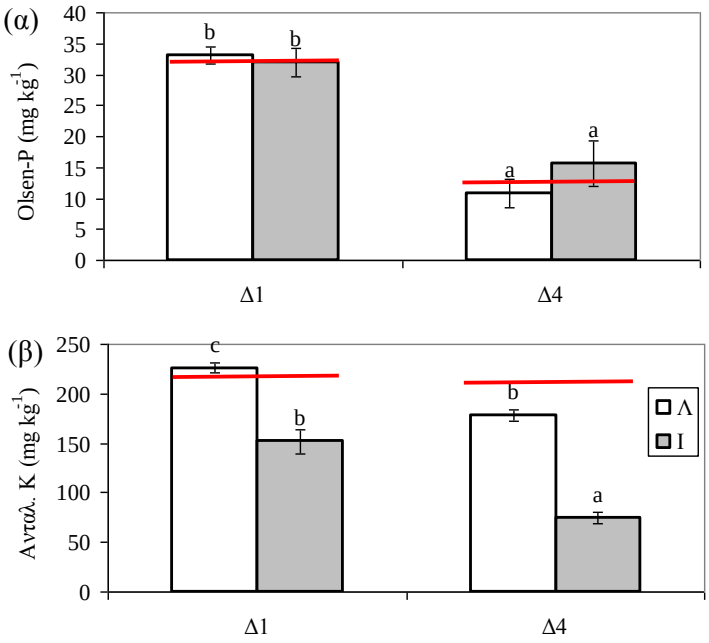
Σχήμα 1. Δυναμική (α) NO_3-N και (β) NH_4-N του εδάφους κατά τις 4 δειγματοληψίες στις μεταχειρίσεις της συμβατικής λίπανσης (Λ) και της ιλύος βιολογικού καθαρισμού (Ι). Οι οριζόντιες γραμμές αντιπροσωπεύουν το μάρτυρα (περιοχή χωρίς καμία προσθήκη).

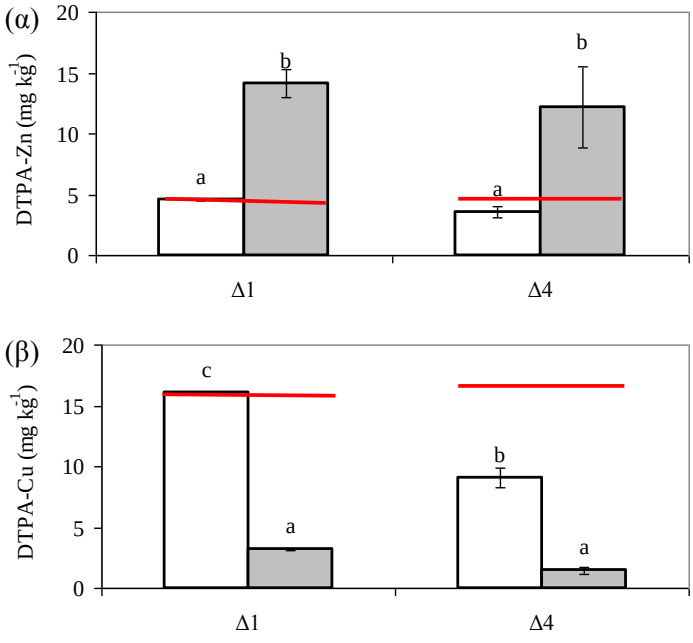
Όλα τα εδαφικά δείγματα αεροξηραίνονταν (εκτός από ένα τμήμα δείγματος που προορίζονταν για την εκχύλιση NH_4- και NO_3-N, η οποία γίνονταν σε νωπό δείγμα και τα αποτελέσματα ανάγονταν σε ξηρό βάρος εδάφους μετά την αεροξήρανση), λειοτριβούνταν και περνούσαν από κόσκινο με ανοίγματα 2 mm. Οι αναλύσεις κατόπιν γίνονταν σύμφωνα με τον Rowell (1994). Τα φυτικά δείγματα πλένονταν με απιονισμένο H_2O, ξηραίνονταν στους 70 ^{0}C έως σταθερού βάρους, κονιορτοποιούνταν σε μύλο άλεσης και αποτεφρώνονταν σύμφωνα με τη μέθοδο dry ashing κατά Jones *et al.* (1990) (εν συντομία, 0.5 g υλικού στους 500 ^{0}C για 5 ώρες και παραλαβή της τέφρας με 20 mL 20% v/v HCl), μέθοδο με την οποία μετρούνταν όλα τα υπόλοιπα στοιχεία εκτός από N. Το N μετρούνταν κατά Kjeldahl (Rowell, 1994).

Τα δεδομένα αναλύθηκαν στατιστικά με ANOVA και οι ελάχιστες σημαντικές διαφορές (LSD) μεταξύ μέσων όρων υπολογίστηκαν για επίπεδο σημαντικότητα μεγαλύτερο του 95% (p<0.05) με το στατιστικό πακέτο Statgraphics 2.1.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Το έδαφος στον αγρό του αραβόσιτου ήταν βαρύ (αργιλοπηλώδες), αλκαλικό, με φυσιολογικά χαμηλά ποσοστά οργανικής ουσίας, και χωρίς κάποιον ιδιαίτερο επιβαρυντικό παράγοντα (Πίνακας 1). Πρέπει να τονιστεί ότι η καλλιέργεια των φυτών στο μάρτυρα απέτυχε, λόγω ανεπαρκούς φυτρώματος. Αποτέλεσμα αυτού ήταν ότι ενώ παρουσιάζουμε δεδομένα εδαφολογικά, δεν διαθέτουμε στοιχεία φυτοκομικά. Παρατηρούμε ότι τα



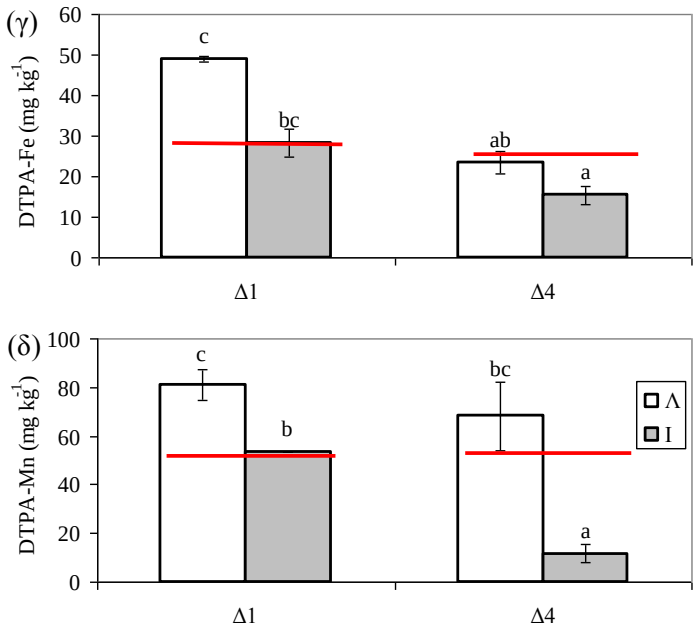


Σχήμα 2. Εκχυλίσιμες συγκεντρώσεις στο έδαφος (α) P (κατά Olsen) και (β) K (ανταλλάξιμο) στην αρχή (Δ1, 22-3-2012) και στο τέλος (Δ4, 23-9-2012) του πειράματος στις μεταχειρίσεις της συμβατικής λίπανσης (Λ) και της ιλύος βιολογικού καθαρισμού (Ι). Οι οριζόντιες γραμμές αντιπροσωπεύουν το μάρτυρα (περιοχή χωρίς καμία προσθήκη).

στη δεύτερη δειγματοληψία που έγινε τον Ιούνιο, με την αύξηση της θερμοκρασίας, παρατηρούμε και στις τρεις μεταχειρίσεις σημαντική αύξηση των συγκεντρώσεων. Πρόκειται για αποτέλεσμα νιτροποίησης που γίνεται από νιτροποιητικά βακτήρια, τα οποία ευνοούνται από την αύξηση της θερμοκρασίας. Η νιτροποίηση λαμβάνει χώρα όταν το εδαφικό pH είναι ουδέτερο προς αλκαλικό, υπάρχει επαρκής αερισμός εδάφους, υπάρχει αφθονία αμμωνιακών, και ικανοποιητική για την ανάπτυξη των βακτηρίων θερμοκρασία (Sahrawat, 2008). Οι δύο τελευταίες παράμετροι αυξήθηκαν στην Δ2. Παρατηρούμε όμως ότι δεν υπάρχουν στο τέλος του πειράματος διαφορές στην υπολειμματικότητα του N. Με τα NH_4-N ότι με το χρόνο ακόμα και οι τιμές του μάρτυρα αυξάνονται. Για αυτό το λόγο πιθανολογούμε ότι η αύξηση της Λ οφείλεται σε μια γενική τάση ανοργανοποίησης στον αγρό, και όχι λόγω προσθήκης επιπλέον N προερχόμενο από την ανοργανοποίηση της προστιθέμενης οργανικής ουσίας στην Ι (Σχήμα 1β).

Ο εκχυλίσιμος P μειώθηκε σημαντικά στην Δ4 από την Δ1, αν και μεταξύ μεταχειρίσεων σε κάθε δειγματοληψία δεν υπήρχαν διαφορές (Σχήμα 2α). Αυτή η ραγδαία μείωση είναι δύσκολο να εξηγηθεί, γιατί αφορά και το μάρτυρα. Όσο αφορά το K, αυτό ήταν σταθερά υψηλότερο στην Ι σε σχέση με την Λ, αν και παρατηρείται και εδώ μείωση με το χρόνο και στις δύο μεταχειρίσεις (Σχήμα 2β). Εδώ είναι πιθανό η μείωση να οφείλεται σε εξάλειψη του εδαφικού K

λόγω πρόσληψης από την καλλιέργεια, γιατί ο



Σχήμα 3. Εκχυλίσιμες με DTPA συγκεντρώσεις στο έδαφος (α) Zn, (β) Cu, (γ) Fe και (δ) Mn στην αρχή (Δ1, 22-3-2012) και στο τέλος (Δ4, 23-9-2012) του πειράματος στις μεταχειρίσεις της συμβατικής λίπανσης (Λ) και της ιλύος βιολογικού καθαρισμού (Ι). Οι οριζόντιες κόκκινες γραμμές αντιπροσωπεύουν το μάρτυρα (περιοχή χωρίς καμία προσθήκη).

ο Zn είναι σημαντικά υψηλότερος από ό,τι στην Λ (Σχήμα 3α), αλλά στα υπόλοιπα 3 στοιχεία (Σχήμα 3β για Cu, Σχήμα 3γ για Fe και Σχήμα 3δ για Mn) στη Λ εκχυλίζονται υψηλότερες συγκεντρώσεις σε σχέση με αυτές στην Ι. Αυτό δείχνει καταρχήν ότι δεν υφίσταται ορατός κίνδυνος τοξικότητας ιχνοστοιχείων από την εφαρμογή της ΙΒΚ, όταν αυτή

ακολουθεί τις χαμηλές δόσεις εφαρμογής σύμφωνα με τις προδιαγραφές της ΕΕ. Για παράδειγμα οι Sivapatham *et al.* (2012) βρήκαν ότι σε δόση εφαρμογής ΙΒΚ έως και 100 tn ha^{-1} (πενταπλάσια από τη δική μας) η συγκέντρωση ιχνοστοιχείων δεν

Πίνακας 2. Συγκέντρωση θρεπτικών στα στελέχη και στους καρπούς του αραβοσίτου στο τέλος (23-9-2012) του πειράματος στις μεταχειρίσεις της συμβατικής λίπανσης (Λ) και της ιλύος βιολογικού καθαρισμού (Ι). Όλα τα θρεπτικά εκτός του Ν (σε %) εκφράζονται σε mg kg^{-1}.

	___Στελέχη___			___Καρποί___		
	Λ	Ι		Λ	Ι	
N	0,930	1,284	NS	1,694	1,617	NS
P	2178	1451	*	1718	1785	NS
K	4649	4512	NS	3282	3351	NS
Mg	3164	4354	*	1677	1734	NS
Ca	4909	8307	*	1699	1558	NS
Fe	40,97	42,43	NS	52,67	61,45	NS
Mn	1,57	1,78	NS	7,27	2,04	*
Cu	6,77	6,77	NS	5,08	6,77	NS
Zn	18,64	15,98	NS	37,29	35,56	NS

NS = Μη στατιστικά σημαντική διαφορά. *Στατιστικά σημαντική διαφορά στο επίπεδο του $p<0.05$.

Πίνακας 3. Φυτοκομικά χαρακτηριστικά του αραβοσίτου στο τέλος (23-9-2012) του πειράματος στις μεταχειρίσεις της συμβατικής λίπανσης (Λ) και της ιλύος βιολογικού καθαρισμού (Ι). Καμία από τις διαφορές μεταξύ Λ και Ι δεν είναι στατιστικά σημαντική.

	Λ	Ι
Ύψος φυτού (m)	2,747	2,608
Φύλλα (kg $στρ^{-1}$)	446	467
Στελέχη (kg $στρ^{-1}$)	503	489
Ρόκες (kg $στρ^{-1}$)	207	218
Καρποί (kg $στρ^{-1}$)	1440	1454
Συνολική βιομάζα (kg $στρ^{-1}$)	2596	2629
1000 σπόροι (g)	340,83	356,87

αυξήθηκε στη φυτομάζα σημαντικά. Δεύτερο, η διαθεσιμότητα του Cu, του Fe και του Mn εξαρτώνται σημαντικά από την οργανική ουσία. Με τη χορήγηση μεγάλου μοριακού βάρους μη-επαρκώς χουμοποιημένων οργανικών ενώσεων, τα κατιόντα αυτά οδηγούνται σε μείωση της διαθεσιμότητάς τους, γιατί δημιουργούνται χηλικές ενώσεις, οι οποίες λόγω μεγάλου μεγέθους είναι αδιάλυτες και μη αφομοιώσιμες από τα φυτά. Πράγματι, οι Achiba *et al.* (2009) βρήκαν ότι οι μορφές των ιχνοστοιχείων που δεσμεύονται ως μη-διαθέσιμες μορφές σε οργανικά σύμπλοκα αυξάνονται με τη δόση της εφαρμογής τα ΙΒΚ στο έδαφος.

Δεν βρέθηκαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των θρεπτικών στοιχείων στον αραβόσιτο στις δύο μεταχειρίσεις, παρά μόνο στον P, το Mg και το Ca στα στελέχη και μόνο στο Mn στους καρπούς (Πίνακας 2). Μάλιστα η Λ υπερείχε δύο φορές (στον P και το Mn) και άλλες δύο η Ι (στο Mg και το Ca), κάτι που φανερώνει ότι μάλλον δεν υπάρχει μια ξεκάθαρη τάση μεταξύ των μεταχειρίσεων, αλλά μόνο κάποιες μεταβολές χωρίς επιπλέον σημασία.

Πίνακας 4. Συνολική επιστροφή N, P και K στο έδαφος στην περίπτωση που η βιομάζα του αραβόσιτου μετά τη συγκομιδή τού καρπού ενσωματωθεί στο έδαφος.

		Λ	Ι
N	Σ(AN)[a] (mg kg^{-1})	70,03	48,30
	Σ(AN)[b] (kg $στρ^{-1}$)	5,25	3,62
	Φύλλα	4,05	4,96
	Φύλλα (x 30%)[c]	1,22	1,49
	Στελέχη	4,57	6,32
	Στελέχη (x 30%)[c]	1,37	1,90
	Σ =	7,84	7,01
P	Φύλλα	0,25	0,68
	Φύλλα (x 30%)[γ]	0,08	0,20
	Στελέχη	1,11	0,71
	Στελέχη (x 30%)[γ]	0,33	0,21
	Σ (ως P) =	0,41	0,42
	Σ (ως P_2O_5) =	0,94	0,96
K	Φύλλα	1,06	1,00
	Φύλλα (x 30%)[γ]	0,32	0,30
	Στελέχη	2,30	2,22
	Στελέχη (x 30%)[γ]	0,69	0,67
	Σ (ως K) =	1,01	0,97
	Σ (ως K_2O) =	1,21	1,16

a: Άθροισμα NO_3- και NH_4-N στην Δ4. b: Θεωρούμε ενεργό βάθος 10 cm και φαινόμενο ειδικό βάρος 1,33 g cm^{-3}. c: Το ποσοστό ανοργανοποίησης της προστιθέμενης βιομάζας (στελέχη και φύλλα) σε διάρκεια ενός έτους θεωρείται ίσο με 30%.

Τα φυτοκομικά χαρακτηριστικά των φυτών στις δύο μεταχειρίσεις, φαίνεται ότι ακολουθούσαν την ίδια τάση με τα θρεπτικά στοιχεία: Δεν βρέθηκαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων (Πίνακας 3). Αυτό δείχνει ότι η ΙΒΚ, ακόμα και εφαρμοζόμενη σε μικρές δόσεις χορήγησης, μπορεί να αντικαταστήσει το ανόργανο λίπασμα χωρίς επιπτώσεις σε μείωση παραγωγής. Αξίζει δε να τονιστεί ότι η σοδειά σε καρπό (στο επίπεδο των 1450 kg ξηρής ουσίας ανά στρέμμα), αν και ήταν χαμηλότερα του αναμενόμενου, ήταν σημαντική.

Τέλος για την πληρέστερη εικόνα της διαχείρισης του αγρού, διερευνήθηκε το σενάριο της ενσωμάτωσης των μη συγκομιζόμενων φυτικών μερών, δηλαδή φύλλων και στελεχών, στο έδαφος (Πίνακας 4). Κάνοντας μια προσπάθεια να υπολογισθεί η εισροή N, P και K (ο υπολογισμός έγινε για λόγους ευκολίας μόνο για αυτά τα 3 στοιχεία), ανάχθηκε το διαθέσιμο N (NH_4- και NO_3-

N) σε επίπεδο αγρού, σε kg N στρ^{-1}. Κατόπιν αθροίσθηκε το συνολικό N φύλλων και των στελεχών και εκτιμήθηκε ότι το 30% του N θα κατασταθεί διαθέσιμο κατά την πρώτη χρονιά (εκτίμηση σύμφωνα με τους Gil *et al*. (2011), οι οποίοι βρήκαν ότι εδάφη που δέχονται ΙΒΚ ανοργανοποιούν το οργανικό N σε ποσοστά που κυμαίνονται από 10% έως 40%, ποσοστά που εξαρτώνται από τις εδαφικές ιδιότητες). Ίδια διερεύνηση έγινε και για το P και για το K, και καταλήξαμε στις συνολικές εισροές σε kg P_2O_5 και K_2O στρ^{-1}. Βρέθηκε ότι μεταξύ των μεταχειρίσεων δεν υπήρξαν διαφορές στις εισροές αυτών των κύριων θρεπτικών. Κάνοντας την διαχείριση της ενσωμάτωσης μετά το πέρας της καλλιεργητικής περιόδου, εμπλουτίσθηκε το έδαφος με 7-8 kg N στρ^{-1}, όπως επίσης και με περίπου 1 kg P_2O_5 και K_2O στρ^{-1}. Αυτές οι εισροές, ιδιαίτερα σημαντικές για το N, αλλά μικρές--αν όχι ευκαταφρόνητες--για P και K, και εξοικονομούν πόρους για τη χρήση της επόμενης καλλιεργητικής περιόδου.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- Σε χρόνο ενός έτους η επίδραση της προστιθέμενης ΙΒΚ σε αγρό ετήσιας υψηλής στρεμματικής απόδοσης καλλιέργειας δεν επιφέρει αρνητικές επιδράσεις, και άρα η ΙΒΚ μπορεί να αντικαταστήσει την συμβατική (και πολυδάπανη) ανόργανη λίπανση.
- Στο σενάριο της ενσωμάτωσης των μη συγκομιζόμενων φυτικών υλικών (στελέχη και φύλλα) ο εμπλουτισμός του εδάφους σε N (π. 7-8 kg N στρ^{-1}), σε P (π. 1 kg P_2O_5 στρ^{-1}) και σε K (π. 1 kg K_2O στρ^{-1}) ήταν παρόμοιος στις δύο μεταχειρίσεις.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Achiba, W.B., Gabteni, N., Lakhdar, A., Laing, G.D., Verloo, M., Jedidi, N., Gallali, T. 2009. Effects of 5-year application of municipal solid waste compost on the distribution and mobility of heavy metals in a Tunisian calcareous soil. Agric. Ecos. Environ. 130:156-163.

Gil, M.V., Garballo, M.T., Calvo, L.F. 2011. Modelling N mineralization from bovine manure and sewage sludge. Biores. Technol. 102:863-871.

Jones, J., Case, J.B., Case, V.W. 1990. Sampling, handing, and analyzing plant tissue samples. In: Soil Testing and Plant Analysis, 3rd edition, Madison: SSSA, pp. 389–427.

Rowell, D.L.1994. Soil Science: Methods and Applications. Prentice Hall, Harlow, UK.

Sahrawat, K.L. 2008. Factors affecting nitrification in soils. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 39:1436-1446.

Samaras, V., Tsadilas, C.D., Stamatiadis, S., 2008. Effects of repeated application of municipal sewage sludge on soil fertility, cotton yield, and nitrate leaching. Agron. J. 100:477–483.

Sivapatham, P., Potts, M.C., Delice, A., Sajwan, K.S., Alva, A.K., Jayaraman, K., Chakraborty, P. 2012. Evaluation of wastewater treatment by-products as soil amendments: Growth of sorghum-sudan grass and trace elements concentrations. J. Environ. Sci. Health A: Toxic Haz. Subst. Environ. Engin. 47:1678-1686.

Sukreeyapongse, O., Holm, P.E., Strobel, B.W., Panichsakpatana, S., Magid, J., Hansen, H.C.B. 2002. pH-dependent release of cadmium, copper, and lead from natural and sludge-amended soils. J. Environ. Qual. 31:1901–1909.

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΛΙΠΑΝΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΣΤΑ ΒΑΣΙΚΑ ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΤΟΜΑΤΑΣ ΣΤΗΝ ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΕΛΛΑΔΑ

Δημήτριος Καλφούντζος, Νικόλαος Γκουγκουλιάς, Χρυσούλα Παπαϊωάννου, Παναγιώτης Βύρλας, Δημήτριος Ζέρβας, Μαρία Κόκκορα και Δημήτριος Πατέρας
Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα (Τ.Ε.Ι.) Λάρισας, Σχολή Τεχνολογίας Γεωπονίας, Τμήμα Μηχανικής Βιοσυστημάτων, Τ.Κ. 41110 Λάρισα, e-mail: dkalf@teilar.gr

Σε πείραμα αγρού που εγκαταστάθηκε στο αγρόκτημα του Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Λάρισας κατά τα έτη 2011 και 2012, αξιολογήθηκε η επίδραση της λίπανσης στην παραγωγή και στα βασικά χαρακτηριστικά της βιομηχανικής τομάτας. Εφαρμόστηκαν τέσσερα επίπεδα λίπανσης, ήτοι: (α) κοινή λίπανση όπως αναφέρει το πρακτικό λίπανσης των καλλιεργειών για το Ν. Λάρισας, (β) βιολογική καλλιέργεια χωρίς τη χρήση λιπασμάτων και κοινών φυτοπροστατευτικών προϊόντων, (γ) 80% της κοινής λίπανσης και (δ) 60% της κοινής λίπανσης. Τα φυτά βιομηχανικής τομάτας μεταφυτεύτηκαν στο στάδιο των 6-7 πραγματικών φύλλων στο έδαφος, στις αρχές Μαΐου. Από τα πειραματικά δεδομένα προκύπτει θετική συσχέτιση της λίπανσης με ορισμένα από τα ποσοτικά και ποιοτικά χαρακτηριστικά τα οποία εξετάστηκαν. Η εφαρμογή διαφορετικών επιπέδων λίπανσης επηρεάζει τα ποσοτικά και ποιοτικά χαρακτηριστικά της καλλιέργειας βιομηχανικής τομάτας, με αποτέλεσμα την εξοικονόμηση λιπάσματος κατά 20%. Η βιολογική καλλιέργεια βιομηχανικής τομάτας μπορεί να διαδοθεί χωρίς ιδιαίτερα προβλήματα στην περιοχή της Κεντρικής Ελλάδας.

Λέξεις κλειδιά: βιομηχανική τομάτα, λίπανση, βιολογική καλλιέργεια, διαλυτά στερεά συστατικά.

EFFECTS OF FERTILIZATION IN PRODUCTION AND QUALITY IN BASIC CHARACTERISTICS OF INDUSTRIAL TOMATO IN CENTRAL GREECE

Dimitrios Kalfountzos, Nikolaos Gougoulias, Chrysoula Papaioannou, Panagiotis Vyrlas, Dimitrios Zervas, Maria Kokkora and Dimitrios Pateras
Technological Educational Institute of Larissa, School of Agricultural Technology, Department of Biosystems Engineering, Zip. 411 10, Larissa, e-mail: dkalf@teilar.gr

In a field experiment, established on the farm of the Technological Educational Institute of Larissa in 2011 and 2012, the effects of fertilization on the production and the basic characteristics of industrial tomatoes were evaluated. Four fertilization levels were applied, namely: (a) Common fertilization, normally practiced in Larissa, (b) organic farming, with no use of fertilizers or other conventional plant protection products, (c) 80% of the common fertilizer application, and (d) 60% of the common fertilizer application. Plants of the industrial tomato (hybrid Heinz S3402) were transplanted at the stage of 6-7 true leaves in early May. The experimental data show a positive correlation of fertilization with some of the quantity and quality characteristics examined. The application of different levels of fertilization affect the quantitative and qualitative characteristics of the farming of industrial tomato, a saving of 20% fertilizer. Organic farming of industrial tomatoes can be spread without major problems in Central Greece.

Keywords: industrial tomato, fertilization, organic farming, total soluble solids.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η καλλιέργεια της βιομηχανικής τομάτας, θεωρείται ως μία από τις πλέον εντατικές χρήσεις γεωργικής γης από την άποψη της άρδευσης, της χρήσης λιπασμάτων και της φυτοπροστασίας (Rinaldi et al., 2003). Ο Αγγίδης (1995) αναφέρει ότι για την παραγωγή 8 τόνων τομάτας ανά στρέμμα σε χωράφι με 3% οργανική ουσία απαιτούνται συνολικές λιπαντικές μονάδες των βασικών στοιχείων ως εξής: άζωτο (N) 20-25, φώσφορο (P_2O_5) 10-12, κάλιο (K_2O) 30-35. Το μεγαλύτερο μέρος της παραγωγής και της μεταποίησης της βιομηχανικής τομάτας στη χώρα μας εντοπίζεται στις εξής τρείς γεωγραφικές περιοχές: τη βόρεια περιοχή (Μακεδονία – Θράκη) με το 25% της παραγωγής, τη κεντρική περιοχή (Θεσσαλία – Βοιωτία) υπεύθυνη για το 60% της παραγωγής και την Πελοπόννησο με το 15% της εγχώριας παραγωγής. Οι γεωργικές εκμεταλλεύσεις παραμένουν μικρές στη χώρα μας και είναι οικογενειακής μορφής με έκταση που κυμαίνεται από 50 έως 200 στρέμματα. Η απευθείας σπορά με υβρίδια βιομηχανικής τομάτας χρησιμοποιείται σε μικρό ποσοστό σήμερα, ενώ τα έτοιμα φυτά που μεταφυτεύονται στο χωράφι προτιμώνται σε περιοχές που στοχεύουν στην πρώιμη παραγωγή.

Η βιομηχανική τομάτα είναι μία από τις πολλές συμβολαιϊκές καλλιέργειες. Οργανώσεις παραγωγών, ομάδες παραγωγών ή και μεμονωμένοι παραγωγοί υπογράφουν συμβόλαια με μονάδες μεταποίησης, βιομηχανίες τροφίμων που επεξεργάζονται την τομάτα και παράγουν διάφορα προϊόντα (όπως τοματοπολτό, τοματοχυμό, αποφλοιωμένες ή τεμαχισμένες τομάτες κ.α.) στοχεύοντας στην εγχώρια αγορά και σε εξαγωγές.

Η αλόγιστη χρήση λιπασμάτων και συμβατικών φυτοπροστατευτικών προϊόντων στη γεωργία οδηγεί παραγωγούς και καταναλωτές με όλο και πιο γρήγορο ρυθμό στη βιολογική γεωργία. Η καλλιέργεια της βιομηχανικής τομάτας, στην Ελλάδα, με βάση τους κανόνες της βιολογικής γεωργίας

βρίσκει πρόσφορο έδαφος. Απομένει να απαντηθούν δύο βασικά ερωτήματα: α) αν είναι εφικτή η καλλιέργεια της με βάση τους κανόνες της βιολογικής γεωργίας και β) αν είναι συμφέρον για τον παραγωγό αλλά και την ελληνική οικονομία, το οικονομικό αποτέλεσμα που θα προκύψει.

Κατά συνέπεια η βελτιστοποίηση των συνθηκών λίπανσης της καλλιέργειας βιομηχανικής τομάτας δεν θα πάψει να απασχολεί τους ερευνητές εφόσον η παγκόσμια παραγωγή της βαίνει αυξανόμενη. Επομένως είναι σκόπιμο η Ελλάδα, βελτιστοποιώντας τις συνθήκες παραγωγής της εν λόγω καλλιέργειας, να γίνει πιο ανταγωνιστική σε ένα προϊόν του οποίου η ζήτηση αυξάνεται παγκόσμια.

Όσον αφορά στην ποιότητα της βιομηχανικής τομάτας, μεταξύ των κυριότερων επιθυμητών χαρακτηριστικών τα οποία θα πρέπει να χαρακτηρίζουν την παραγωγή της είναι η υψηλή περιεκτικότητα σε διαλυτά στερεά συστατικά, η χαμηλή οξύτητα, η αντοχή στη μεταφορά, η υψηλή παραγωγικότητα και το υψηλό ποσοστό καρπών 1ης κατηγορίας (Goose and Binsted, 1964).

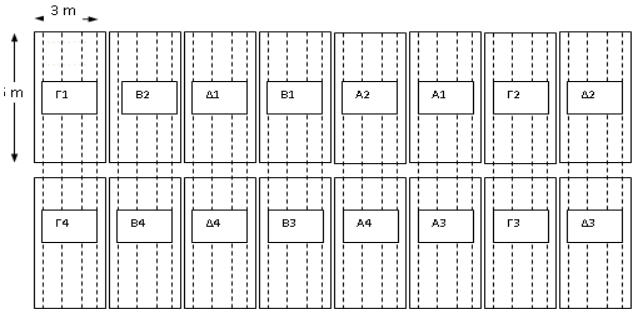
Η παρούσα εργασία διερευνά την επίδραση της λίπανσης στην ποιότητα της βιομηχανικής τομάτας στη κεντρική Ελλάδα. Διερευνήθηκαν τρία επίπεδα λίπανσης και η εφαρμογή της βιολογικής καλλιέργειας στη βιομηχανική τομάτα.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1 Περιγραφή της εγκατάστασης

Το αρδευτικό δίκτυο αποτελούνταν από τον κύριο αγωγό μεταφοράς από PE Φ32/6 Atm και από δευτερεύοντες αγωγούς PE Φ20/6 Atm. Οι σταλακτηφόροι σωλήνες της επιφανειακής στάγδην άρδευσης είχαν ισαποχή 1.5 m, μήκος 5 m και ήταν τύπου PC/Φ16 με ενσωματωμένους σταλάκτες. Οι σταλάκτες ήταν αυτορυθμιζόμενοι και αυτοκαθαριζόμενοι ισαποχής 0.70 m, παροχής 2.2 Lh^{-1} σε πίεση λειτουργίας από 0.5 έως 3.5 Atm, με διπλό μηχανισμό αυτοκαθαρισμού, και δύο κανάλια εξόδου ώστε να αποφεύγεται η έμφραξη. Εφαρμόστηκαν τέσσερις επεμβάσεις λίπανσης:

Η εφαρμοζόμενη κοινή λίπανση (Α) όπως αναφέρεται στο πρακτικό λίπανσης των καλλιεργειών της Αγροτικής Ανάπτυξης του Νομού Λάρισας, βιολογική καλλιέργεια χωρίς λίπανση και φυτοφάρμακα (Β), λίπανση με το 80% της κοινής λίπανσης (Γ) και λίπανση με το 60% (Δ). Οι επιφανειακές λιπάνσεις έγιναν με τη βοήθεια συστήματος Venturi (υδρολίπανση) που εγκαταστάθηκε στην κεφαλή του συστήματος. Τα πειραματικά τεμάχια (Σχήμα 1) χαρακτηρίζονται από ένα γράμμα και έναν αριθμό. Το πρώτο γράμμα χαρακτηρίζει το επίπεδο λίπανσης και ο αριθμός την επανάληψη. Οι διαστάσεις κάθε πειραματικού τεμαχίου ήταν 5 x 3 = 15 m^2. Το πειραματικό σχέδιο περιλάμβανε τυχαιοποιημένες ομάδες με τέσσερις επαναλήψεις.



Σχήμα 1. *Σχηματική διάταξη πειραματικών τεμαχίων καλλιέργειας βιομηχανικής τομάτας αγροκτήματος Λάρισας.*

2.2 Περιγραφή του πειράματος

Για την υλοποίηση του ερευνητικού προγράμματος εγκαταστάθηκε πειραματικός αγρός βιομηχανικής τομάτας στη Λάρισα (αγρόκτημα ΤΕΙ) που αρδεύεται με στάγδην άρδευση και εφαρμόζονται διάφορα επίπεδα λίπανσης στα πειραματικά τεμάχια. Από τις αναλύσεις των δειγμάτων εδάφους (Πίνακας 1.) και την ταξινόμησή του προέκυψε ότι είναι αμμοαργιλοπηλώδες και ανήκει στην υποομάδα των Vertic Xerochrept των Inceptisols, (Καλφούντζος κ.α. 2012).

Πίνακας 1. Φυσικές και χημικές ιδιότητες του εδάφους

Βάθος (cm)	Μηχανική σύσταση				Οργανική Οσία %	ΦΕΒ g/cm³	Υδατοικανότητα % κ.ο	Σημείο Μόνιμης Μάρανσης % κ.ο
	Άμμος %	Ιλύς %	Άργιλος %	Χαρ/μός				
0-30	52,56	22,72	24,70	SCL	1,80	1,51	27,81	16,35
30-60	54,56	28,72	16,70	SCL	1,02	1,53	22,50	11,20
60-90	48,56	20,72	30,70	SCL	0.24	1,56	29,18	19,10

Βάθος (cm)	$CaCO_3$ %	pH 1:5 H_2O	ECe 25 °C	N-Ανόργ. (mg/kg)	P-Olsen (mg/kg)	K-Εναλ. cmol kg^{-1}	DTPA-Cu (mg/kg)	DTPA-Zn (mg/kg)	DTPA-Mn (mg/kg)	CEC (cmol kg^{-1})
0-30	1,30	7,6	0,121	93,31	20,83	1,1	0,980	0,725	16,65	35,87
30-60	0,16	7,7	0,154	121,32	6,55	0,78	1,205	0,495	15,02	37,07
60-90	0,90	8,1	0,264	107,18	8,85	0,78	1,135	0,605	13.36	36,49

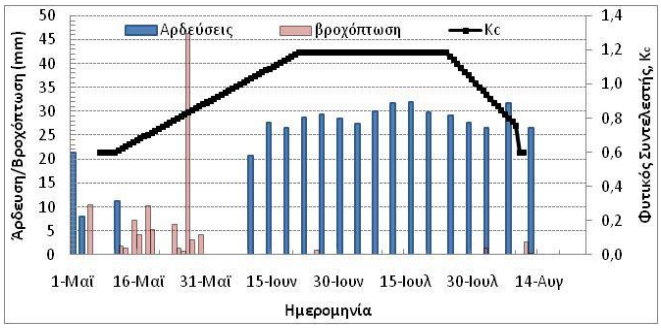
Έγιναν δύο εφαρμογές του οικολογικού μυκητοκτόνου Vacciplant, σε δοσολογία 50 mL/100 L νερού και του οικολογικού εντομοκτόνου Belthirul (3200 wp) σε δοσολογία 50 g/100 L νερού.

Η συγκομιδή πραγματοποιήθηκε στο κόκκινο στάδιο ωρίμανσης σύμφωνα με την κατάταξη του USDA (1997), την 25η Αυγούστου χειρωνακτικά. Από κάθε επανάληψη του πειράματος συλλέχθηκε και ζυγίστηκε χωριστά για κάθε γραμμή η παραγωγή 10 φυτών. Για κάθε πειραματικό τεμάχιο και κάθε επανάληψη εξετάστηκαν τα ποιοτικά χαρακτηριστικά της βιομηχανικής τομάτας στο Εργαστήριο Ποιότητας Γεωργικών Προϊόντων του Τμήματος Μηχανικής Βιοσυστημάτων του ΤΕΙ Λάρισας.

Για την εύρεση της εμπορεύσιμης και μη (πράσινη-σάπια) παραγωγής ανά πειραματικό τεμάχιο και μεταχείριση συγκομίστηκε μόνο η παραγωγή των 10 μεσαίων φυτών των δύο μεσαίων γραμμών φύτευσης, ενώ για την ανάλυση των δεδομένων που αφορούν στη σύσταση των καρπών (οργανοληπτικά χαρακτηριστικά) χρησιμοποιήθηκε το πλήρως τυχαιοποιημένο σχέδιο, με τέσσερις επαναλήψεις ανά μεταχείριση και πέντε όμοιους καρπούς ανά επανάληψη. Η σύγκριση των μέσων όρων έγινε με τεστ πολλαπλών ευρών Duncan, σε επίπεδο σημαντικότητας 0.05 (στατιστικό πακέτο SPSS 10).

2.3 Υδατοκατανάλωση

Η εφαρμοζόμενη ποσότητα νερού σε κάθε άρδευση υπολογίζονταν από κλιματικά δεδομένα του αυτόματου τηλεμετρικού μετεωρολογικού σταθμού που υπήρχε στη θέση του πειράματος με τη μέθοδο Penman-Mothieth FAO 56. Για τον προσδιορισμό της εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας αναφοράς χρησιμοποιείται η τροποποιημένη μέθοδος Penman-Monteith όπως αυτή περιγράφεται από τον FAO-56 (Allen et al., 1998). Οι μετρήσεις αναφέρονται στην περίοδο Μαΐου - Αυγούστου 2012. Μετά τη μεταφύτευση της βιομηχανικής τομάτας έγινε άρδευση για το φύτρωμα της καλλιέργειας, με απλούς εκτοξευτήρες και δόση άρδευσης 15 mm. Η συνολική βροχόπτωση κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου ανήλθε σε 110,4 mm (Σχήμα 2). Το συνολικό ύψος άρδευσης σε όλες τις μεταχειρίσεις ανήλθε σε 508,48 mm.

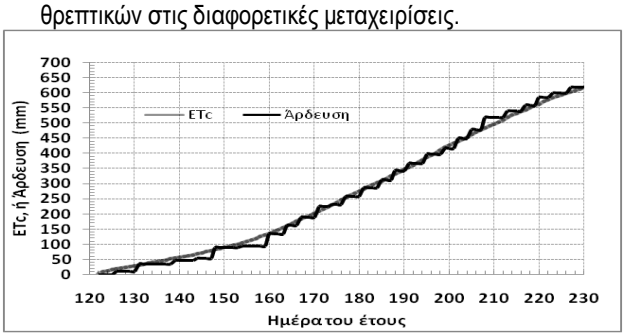


Σχήμα 2. Αρδεύσεις υπολογισμένες από το πρόγραμμα FAO 56

2.3. Λίπανση

Η θρέψη περιελάμβανε την βασική λίπανση (N-P_2O_5-K_2O λιπαντικές μον.): Α) 4,92-4,92-6,97, Γ) 4,92-3,94-6,97, Δ) 4,92-2,95-6,97 επί της γραμμής στις 8-6-2012 στις επεμβάσεις Α, Γ, Δ) και 5300 kg κοπριά στη βιολογική καλλιέργεια (Β). Η κοπριά περιείχε οργανική ουσία 16,39% ξηρού βάρους, 541 mg kg^{-1} νιτρικού και αμμωνιακού αζώτου, 418,6 mg kg^{-1} φωσφόρου αφομοιώσιμου και 9941,0 mg kg^{-1} **εναλλακτικό** κάλιο. Έγιναν 3 επεμβάσεις υδρολίπανσης με εφαρμογή του λιπάσματος 34,5-0-0 και 3 επεμβάσεις υδρολίπανσης με εφαρμογή του λιπάσματος 13,5-0-46,2. Συνολικά στην μεταχείριση Α προστέθηκαν 24,49-4,92-20,83 μονάδες, στη μεταχείριση Γ 19,59-3,94-16,66 και στη Δ 14,69-2,95-12,50.

Στον Πίνακα 2 παρουσιάζονται τα ισοζύγια θρεπτικών στις διαφορετικές μεταχειρίσεις.



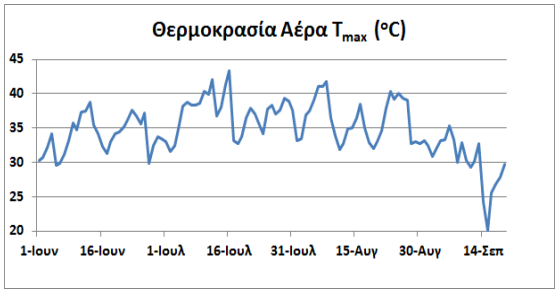
Σχήμα 3. *Συνολικό ύψος άρδευσης σε όλες τις μεταχειρίσεις σε σχέση με την εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας*

Πίνακας. 2. Ανόργανα διαθέσιμα στοιχεία.

	Μεταχείριση	Λιπαντικές Μονάδες		
		N	P_2O_5	K_2O
Έναρξη καλλιεργητικής περιόδου	Α, Β, Γ, Δ	39,19	20,04	217,14
Προσθήκη Λίπανσης Βασική+Υδρολίπανση (Β:προσθήκη κοπριάς 5,3 ton/στρ.)	Α	24,49	4,92	20,83
	Β	2,87	5,08	63,49
	Γ	19,59	3,94	16,66
	Δ	14,69	2,95	12,50
Τέλος καλλιεργητικής περιόδου	Α	33,10	20.31	209,37
	Β	29,63	21,78	209,40
	Γ	40,94	10,9	203,18
	Δ	46,34	6,38	216,41

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Η καλλιέργεια της βιομηχανικής τομάτας αναπτύσσεται κανονικά σε θερμοκρασίες από 18 έως 28 °C, (Αγγίδης 1995). Η ύπαρξη κατά το έτος 2012 θερμοκρασιών μεγαλύτερων των 28 °C (Σχήμα 4.) συνετέλεσε στη μείωση της παραγωγής σε σχέση με το έτος 2011 λόγω της αυξημένης προσβολής των καρπών από ηλιοεγκαύματα.



Σχήμα 4*. Μέγιστη θερμοκρασία του αέρα κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου.*

Η μεταχείριση με τη μικρότερη ποσότητα λιπάσματος (Δ), παρουσίασε τη μεγαλύτερη εμπορεύσιμη παραγωγή (5,55 kg m^{-2}), πράγμα που σημαίνει ότι μπορούμε να κάνουμε εξοικονόμηση λιπάσματος. Η βιολογική καλλιέργεια έδωσε την μικρότερη παραγωγή (4,09 kg m^{-2}), αλλά δεν διέφερε στατιστικώς σημαντικά μεταξύ των άλλων μεταχειρίσεων. Η βιολογική καλλιέργεια βιομηχανικής τομάτας μπορεί να διαδοθεί χωρίς ιδιαίτερα προβλήματα στην περιοχή της Κεντρικής Ελλάδας. Το μεγαλύτερο βάρος καρπού (50,10 g) το έδωσε η μεταχείριση Α αλλά δεν διαφέρει στατιστικώς σημαντικά με την μεταχείριση Β και Δ. Το γεγονός ότι η μεταχείριση Β έδωσε την μικρότερη απορριπτόμενη παραγωγή (πράσινη = 1,20 kg m^{-2} και σάπια = 1.28 kg m^{-2}) αποβαίνει τελικά υπέρ της βιολογικής καλλιέργειας.

Πίνακας 2. Συνολική εμπορεύσιμη παραγωγή, απορριπτόμενη παραγωγή (kg m^{-2}) τομάτας, αναλογία κόκκινης /πράσινης και βάρος καρπού

Μετα-χείριση	Αριθμ. Επαναλ. (# καρπών)	Συνολική εμπορεύσιμη παραγωγή (kg m^{-2})	Απορριπτόμενη παραγωγή (kg m^{-2})		Αναλογία κόκκινης /πράσινης	Βάρος κ (g)
			πράσινη	σάπια		
Α	4 (161)	4,71ab	1,11a	1,60bc	4,24	50,1
Β	4 (160)	4,09b	1,20a	1,28c	3,40	49,8
Γ	4 (140)	4,57ab	1,20a	2,22a	3,80	47,0
Δ	4 (160)	5,55a	1,15a	2,04ab	4,82	49,5
Sig.		<0,267	<0,573	<0.219		<0.0

Τα διαφορετικά γράμματα δηλώνουν ότι υπάρχουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές (για p<0,

Επειδή η τιμή της βιομηχανικής τομάτας εξαρτάται από το ποσοστό της κόκκινης παραγωγής δηλαδή την αναλογία κόκκινων/πράσινες, έγινε στατιστική επεξεργασία των δειγμάτων ως προς αυτή την παράμετρο (Πίνακας 2) από την οποία δεν προέκυψαν διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων (p = 0,077). Επομένως οι διαφορετικές δόσεις λίπανσης δεν βελτιστοποιούν την καλλιέργεια ως προς αυτή την ποιοτική παράμετρο της παραγωγής.

Άλλη ποιοτική παράμετρος της παραγωγής που εξετάστηκε ήταν τα διαλυτά στερεά συστατικά (ΔΣΣ) και βρέθηκε ότι οι μεταχειρίσεις δεν διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά (Πίνακας 3). Την υψηλότερη τιμή παρουσίασαν οι καρποί της μεταχείρισης Α με (4,88%) και η Β (4,86%). Η τιμή αυτής της ποιοτικής παραμέτρου επηρεάζει επίσης την τιμή της βιομηχανικής τομάτας. Όταν κυμαίνεται μεταξύ 4.0 και 4.6% η τιμή για τον παραγωγό είναι 0.04 € kg^{-1}, μεταξύ 4.7 και 5.0% η τιμή αυξάνεται σε 0.06 € kg^{-1} ενώ όταν είναι μεγαλύτερα από 5.1% η τιμή γίνεται 0.07 € kg^{-1} (Πίνακας 3).

Πίνακας 3. Νωπό βάρος της φυτικής κόμης ανά φυτό (kg), τιμές των διαλυτών στερεών συστατικών των καρπών (%) και τιμή πώλησης της βιομηχανικής τομάτας (€ kg^{-1})

Μετα-χείριση	Αριθμ. Επαναλ. (# καρπών)	Νωπό βάρος φυτικής μάζας (kg φυτό$^{-1}$)	Αριθμ. Επαναλ (# καρπών)	ΔΣΣ (%)	Τιμή πώλησης (€ kg-1)
Α	4 (16)	1,47a	4 (20)	4,88^{a}	0.06
Β	4 (16)	1,55a	4 (20)	4,86^{a}	0.06
Γ	4 (16)	1,55a	4 (20)	4,78^{a}	0.06
Δ	4 (16)	1,64a	4 (20)	4,52^{a}	0.04
Sig.		0.300		<0,061	

Τα διαφορετικά γράμματα δηλώνουν ότι υπάρχουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές (για p<0,05).

Η μικρότερη τιμή (0,04 € kg^{-1}) βρέθηκε στη μεταχείριση Δ η οποία αν και έδωσε τη μεγαλύτερη παραγωγή, δεν καλύπτει το όφελος που είχε από την μειωμένη λίπανση. Επομένως με τη μεταχείριση Δ επιτυγχάνεται οικονομία λιπάσματος κατά 20%.

Πίνακας 4. Τιμές του pH και της ογκομετρούμενης οξύτητας των καρπών **(%** περιεκτικότητα των καρπών σε κιτρικό οξύ)

Μεταχείριση	*Αριθμ. Επαναλ. (# καρπών)*	*pH*	*Οξύτητα (%)*
Α	4 (8)	4,58	0,64
Β	4 (8)	4,57	0,55
Γ	4 (7)	4,58	0,77
Δ	4 (8)	4,58	0,58
Sig		=0,78	=0,173

Τα διαφορετικά γράμματα δηλώνουν ότι υπάρχουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές (για p<0,05).

Σχετικά με άλλες ποιοτικές παραμέτρους των καρπών όπως το pH και την ογκομετρούμενη οξύτητα, στη βιβλιογραφία αναφέρονται τιμές για το pH από 4,26 έως 4,82 και για την οξύτητα από 0,40 έως 0,91% (Stevens et al., 1986). Οι τιμές αυτές επηρεάζονται από τον γενότυπο, την ηλιακή ακτινοβολία, την καλιούχο λίπανση και τη θερμοκρασία κατά την ωρίμανση. Επίσης έχει διατυπωθεί ότι κάθε παράγοντας ο οποίος συντελεί στην αύξηση του περιεχόμενου K στον καρπό προκαλεί συγχρόνως και μια αντίστοιχη αύξηση σε οργανικά οξέα με αποτέλεσμα η τιμή του pH του καρπού να παραμένει σταθερή (Καραουλάνης, 2003). Στη συγκεκριμένη εργασία δεν βρέθηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές στην ογκομετρούμενη οξύτητα. Οι τιμές του pH κυμάνθηκαν από 4.57 έως 4.58 και της

ογκομετρούμενης οξύτητας από 0.55 έως 0.77%, εντός των προαναφερθέντων ορίων.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Συμπεραίνεται ότι η εφαρμογή διαφορετικών επιπέδων λίπανσης επηρεάζει τα ποσοτικά και ποιοτικά χαρακτηριστικά της καλλιέργειας βιομηχανικής τομάτας, με αποτέλεσμα την εξοικονόμηση λιπάσματος κατά 20%. Η βιολογική καλλιέργεια έδωσε την μικρότερη παραγωγή (4,09 kg m^{-2}), αλλά δεν διέφερε στατιστικώς σημαντικά μεταξύ των άλλων μεταχειρίσεων. Η βιολογική καλλιέργεια βιομηχανικής τομάτας μπορεί να διαδοθεί χωρίς ιδιαίτερα προβλήματα στην περιοχή της Κεντρικής Ελλάδας. Η διαφορετική λίπανση δεν επηρέασε τα υπόλοιπα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά που εξετάστηκαν όπως το μέσο βάρος καρπών, το pH και την ογκομετρούμενη οξύτητα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Κεφάλαια βιβλίων

Αγγίδης Α., 1995. Τομάτα Υπαίθρια – Επιτραπέζια-Βιομηχανική- Καλλιέργεια-Αξιοποίηση. Εκδόσεις Παπασωτηρίου, σελ. 263.

Καραουλάνης Γ. 2003. Τεχνολογία επεξεργασίας οπωροκηπευτικών. Εκδόσεις Art of Text.

Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D. and Smith, M., 1998. Crop Evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper No 56, FAO, Rome.

Goose, P.G. and Binsted, R. 1964. Tomato Paste, Puree, Juice and Powder, 1st ed Great Britain: Food Trade Press Ltd.

Rinaldi M., G. Trotta, G. Convertini, A.V. Vonella and A. Elia, 2003. Impiego su pomodoro da industria di fertilizzanti azotati alternativi L'Informatore Agrario, **11** pp 75–78.

Stevens M. A., Rick C.M. 1986. Genetics and breeding In: Atherton J.G and Rudich J. (Editors) The Tomato Crop Chapman and Hall New York pp 35-109.

United States Department of Agriculture (USDA) 1997. Agricultural Marketing Service. Fruit and Vegetable Division. Fresh Products Branch. United States Standards for Grades of Fresh Tomatoes. Effective October 1, 1991 (Reprinted - January 1997).

Πρακτικά συνεδρίων

Καλφούντζος Δ., Γκουγκουλιάς Ν., Παπαϊωάννου Χ., Βύρλας Π., Κόκκορα Μ., Κουτσιανόπουλος Ε. και Μάντζιος Ν. 2012. Σχέση λίπανσης και ποιοτικών χαρακτηριστικων βιομηχανικής τομάτας. 1ο Περιβαλλοντικό Συνέδριο Θεσσαλίας, Σκιάθος.

ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΑΛΑΤΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣΜΕ ΤΗΝ ΒΟΗΘΕΙΑ ΔΙΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΣΥΣΚΕΥΩΝ

Κάργας Γ., Κερκίδης Π.
Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών
Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων & Γεωργ. Μηχανικής
Τομέας Διαχείρισης Υδατικών Πόρων, Ιερά Οδός 75, 118 55 Αθήνα
kargas@aua.gr

Ο προσδιορισμός της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδαφικού διαλύματος (σ_p) μπορεί να γίνει με άμεσες και έμμεσες μεθόδους. Στις άμεσες μεθόδους περιλαμβάνεται η μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας εκχυλίσματος το οποίο λαμβάνεται από πάστα κορεσμένου εδάφους ή από κάποια αναλογία μείγματος εδάφους/νερού. Οι έμμεσες μέθοδοι προσδιορισμού της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδαφικού διαλύματος βασίζονται στην μέτρηση της φαινόμενης ηλεκτρικής αγωγιμότητας (σ_b) του εδάφους. Η σ_b αποτελεί την συνολική αγωγιμότητα του εδάφους και είναι συνάρτηση της σ_p, της εδαφικής υγρασίας (θ), της ηλεκτρικής αγωγιμότητας των στερεών συστατικών (σ_s) και της υφής του εδάφους. Η μέτρηση της σ_b μπορεί να γίνει με διάφορους τρόπους αλλά σήμερα κυρίως γίνεται με την βοήθεια διηλεκτρικών αισθητήρων, οι οποίοι επιτρέπουν την ταυτόχρονη μέτρηση της διηλεκτρικής σταθεράς (ε_r) και της σ_b στον ίδιο εδαφικό όγκο. Η σχέση μεταξύ της σ_b και της σ_p έχει διερευνηθεί από τα μέσα της προηγούμενης εκατονταετίας και έχουν προταθεί μοντέλα που στηρίζονται σε διαφορετικές υποθέσεις. Στην παρούσα εργασία συγκρίνονται δύο διαφορετικές μέθοδοι προσδιορισμού της σχέσης σ_b και σ_p. Η εμπειρική εξίσωση του Archie (1942) και το γραμμικό μοντέλο (Hilhorst, 2000) βασισμένο σε δεδομένα της σ_b από την διηλεκτρική συσκευή WET. Η αξιολόγηση των μεθόδων έγινε σε τρία πορώδη μέσα (αμμώδες, αμμοπηλώδες, αργιλοπηλώδες) και σε τρία διαφορετικά επίπεδα αλατότητας (σ_p=1.20, 3.4 και 6 dS/m). Από τα αποτελέσματα φαίνεται ότι στο αμμώδες μέσο το μοντέλο του Archie δίνει πολύ καλά αποτελέσματα σε όλα τα επίπεδα EC για θ>0.2 cm^3/cm^3. Το γραμμικό μοντέλο δίνει καλά αποτελέσματα μόνο στην EC=1.2 dS/m ενώ υποεκτιμά σοβαρά την σ_p στις μεγαλύτερες τιμές EC Στο αμμοπηλώδες μέσο το μοντέλο του Archie υπερεκτιμά την σ_p για EC=1.2 dS/m και δίνει αποδεκτά αποτελέσματα για τις μεγαλύτερες τιμές. Το γραμμικό μοντέλο υποεκτιμά την σ_p εκτός από την EC=1.2 dS/m. Στο αργιλοπηλώδες μέσο και τα δύο μοντέλα αποτυγχάνουν σε όλα τα επίπεδα EC εκτός από το μοντέλο του Archie στην EC=6 dS/m.

Λέξεις-κλειδιά: Ηλεκτρική αγωγιμότητα, διηλεκτρική σταθερά, γραμμικό μοντέλο.

SOIL SALINITY DETERMINATION WITH DIELECTRIC SENSORS

Kargas G. and P. Kerkides
Agricultural University of Athens
Sector of water resources management
kargas@aua.gr

The soil pore water electrical conductivity (σ_p) determination could be achieved by direct or indirect methods. In the first category the electrical conductivity is measured in the soil water extract from saturated paste or from various soil/water ratios. The indirect methods determined σ_p through the measurement of bulk soil electrical conductivity (σ_b). σ_b represents the overall electrical conductivity of the soil and as such is a function of σ_p, the volumetric soil moisture (θ), the solid surface conductivity (σ_s) and depends also on the soil type. σ_b measurement can be obtained by a variety of methods. Nowdays, dielectric sensors allow the simultaneous determination of the relative dielectric constant of the soil (ε_r) and σ_b at the same soil volume. The σ_b-σ_p relationship has been investigated ½ century before and a number of conceptual empirical models have been proposed. In the present work two different such models are investigated. These are, the empirical model of Archie (1942) as it has been modified by Keller (1964) and the linear model of Hilhorst (2000), based on the σ_b measurements, as these are obtained by the WET dielectric sensor. The comparative evaluation has been performed in three different soils (sand (S), sandy loam (SL) and clay (C) for three different salinity levels (σ_p=1.2, 3.4 and 6 dS/m). From the results it is shown that Archie's model performs very satisfactorily in the S for all salinity levels and θ>0.2 cm^3/cm^3. The Hilhorst model gives good results only for value 1.2 dS/m, while it underestimates σ_p in larger values. For the SL soil, Archie's model overestimates σ_p for value 1.2 dS/m and gives satisfactory results for larger values. The Hilhorst model underestimate σ_p except for the value 1.2 dS/m. For the C soil both models fail in all σ_p levels except the model of Archie for the largest σ_p value.

Key words: Electrical conductivity, linear model, dielectric constant

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η εδαφική αλατότητα αποτελεί σημαντικό παράγοντα που επηρεάζει την ανάπτυξη και την παραγωγή των καλλιεργειών. Η συνηθισμένη διαδικασία για την άμεση εκτίμηση της εδαφικής αλατότητας είναι η λήψη εδαφικών δειγμάτων, η δημιουργία κορεσμένης εδαφικής πάστας, η λήψη του εκχυλίσματος κορεσμού και η μέτρηση της

ηλεκτρικής αγωγιμότητας αυτού (U.S. Salinity Laboratory Staff, 1954). Όμως, η μέθοδος αυτή είναι κοπιαστική και χρονοβόρα όταν πρόκειται για μεγάλο αριθμό δειγμάτων. Επιπλέον, τα δείγματα πρέπει να μεταφερθούν στο εργαστήριο για να μετρηθεί η ηλεκτρική αγωγιμότητά τους και να εκτιμηθεί η αλατότητα. Επίσης και άλλες μεθοδολογίες προσδιορισμού που στηρίζονται στην απευθείας απόκτηση εκχυλίσματος του εδαφικού διαλύματος στον αγρό είναι πολύ δύσκολο να εφαρμοστούν, κυρίως γιατί απαιτούν ιδιαίτερο εξοπλισμό αλλά και γιατί η υγρασία του εδάφους πρέπει να είναι υψηλή για την απόκτηση ικανής ποσότητας διαλύματος για τον προσδιορισμό της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (σ_p).

Για το ξεπέρασμα αυτής της δυσκολίας προσδιορισμού της σ_p αναπτύχθηκαν έμμεσες μέθοδοι προσδιορισμού της από την φαινόμενη ηλεκτρική αγωγιμότητα (σ_b). Η σ_b αποτελεί ένα μέτρο της αγωγιμότητας του εδάφους διαμέσου τριών συνιστωσών, της υγρής, της στερεάς και της αλληλεπίδρασης της στερεάς και της υγρής φάσης. Η αέρια φάση δεν συμβάλει στη αγωγιμότητα και αγνοείται. Η σ_b εξαρτάται από τη σ_p, την κατ' όγκο υγρασία θ και τα χαρακτηριστικά του εδάφους. Για την μέτρηση της σ_b μέχρι πριν 25 χρόνια περίπου χρησιμοποιείτο η μέθοδος της ηλεκτρικής αντίστασης με δύο εκδοχές, την συσκευή Wenner και την μέθοδο των τεσσάρων ηλεκτροδίων (Corwin and Hendrickx, 2002; Corwin, 2002). Η ανάπτυξη της μεθόδου TDR (Time Domain Reflectometry) η οποία παρέχει τη δυνατότητα για αυτόματες και επί τόπου μετρήσεις ταυτόχρονα και στον ίδιο εδαφικό όγκο της σ_b και της θ συνέβαλε σημαντικά στη χρονική ανάλυση της συγκέντρωσης και της κίνησης των αλάτων στην εδαφική κατατομή και διευκόλυνε σημαντική την όλη διαδικασία μέτρησης της σ_b.

Παρόλα αυτά, η εκτίμηση της συγκέντρωσης των αλάτων από τη σ_b απαιτεί είτε καθορισμό σχέσης που να συνδέει απευθείας τη σ_b και τη συγκέντρωση των αλάτων είτε ένα ενδιάμεσο βήμα ώστε η συγκέντρωση να μπορεί να καθοριστεί από την ηλεκτρική αγωγιμότητα σ_p του νερού του εδαφικού πορώδους, (Amente et. al., 2000).

Έχουν προταθεί διάφορα μοντέλα για τη συσχέτιση της σ_b και της σ_p (Archie (1942); Rhoades et. al.,1976; Rhoades et. al., 1989; Mualem and Friedman 1991; Malicki et. al., 1994; Malicki and Walczak 1999; Hilhorst 2000; Amente et. al., 2000). Ο Hillhorst (2000) παρουσίασε ένα γραμμικό μοντέλο που συνδέει τη διηλεκτρική σταθερά (ε) του εδάφους με τη σ_b και τη σ_p. Ο Persson (2002), χρησιμοποιώντας μετρήσεις TDR, έδειξε ότι πράγματι η συνάρτηση ε = f (σ_b) είναι γραμμική, αλλά η μέση κλίση ήταν μικρότερη από ότι αναμενόταν. Οι Hamed et. al., (2003) συνέκριναν το γραμμικό μοντέλο και το μοντέλο Rhoades et. al., (1976) με μετρήσεις των συσκευών Sigma Probe και TDR, καταλήγοντας στο συμπέρασμα ότι, αν και η σχέση ε – σ_b ήταν γραμμική, το γραμμικό μοντέλο δε δίνει ικανοποιητικές προβλέψεις της σ_p. Οι Regalado et. al., (2007) έδειξαν ότι οι τιμές της σ_b που υπολογίστηκαν από τη συσκευή WET και από τη TDR συμπίπτουν, ενώ η σχέση ε – σ_b ήταν γραμμική για δύο εδαφικούς τύπους. Όμως, το μοντέλο Hilhorst (2000) απέτυχε να προβλέψει τη σ_p και με τα δεδομένα των δύο συσκευών. Οι Kargas & Kerkides (2010), χρησιμοποιώντας μετρήσεις από τον WET έδειξαν ότι το γραμμικό μοντέλο μπορεί να προβλέψει τη σ_p με κάποια ακρίβεια στα χονδρόκοκκα πορώδη μέσα. Επίσης οι Kargas & Kerkides (2012) σύγκριναν το γραμμικό μοντέλο με το μοντέλο του Rhoades (1976), αξιοποιώντας δεδομένα δύο διηλεκτρικών συσκευών. Το μοντέλο Rhoades et.al., (1976) αποδείχτηκε πιο αξιόπιστο δίνοντας καλύτερα αποτελέσματα και με τις δύο συσκευές σε διαφορετικά εδάφη και επίπεδα αλατότητας.

Στόχος αυτής της μελέτης είναι η σύγκριση των μοντέλων Archie (1942) και Hilhorst ως προς την πρόβλεψη της σ_p.

2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΕΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΕΙΣ

2.1. Μοντέλο του Archie (1942)

Η σχέση μεταξύ της σ_p και της σ_b διερευνήθηκε από τα μέσα του προηγούμενου αιώνα. Η πιο γνωστή σχέση είναι η εμπειρική εξίσωση του Archie's η οποία προτάθηκε κυρίως για αμμώδη εδάφη.

$$\sigma_b = a\sigma_p\phi^m \qquad (1)$$

όπου α και m είναι εμπειρικοί παράμετροι και ϕ το πορώδες. Για τις άμμους με πορώδες από 0.25 έως 0.45 cm^3/cm^3 οι τιμές των παραμέτρων α και m είναι 0.88 και 1.37 αντίστοιχα (Keller, 1994). Για την ακόρεστη κατάσταση η παραπάνω εξίσωση (1) παίρνει την μορφή(Keller, 1994)

$$\sigma_b = a\sigma_p S^n\phi^m \qquad (2)$$

όπου S είναι το ποσοστό κορεσμού. Η εμπειρική παράμετρος n παίρνει την τιμή 2 η οποία απεικονίζει την μεγάλη μείωση της σ_b με την μείωση της θ. Διάφοροι ερευνητές αναφέρουν ότι στην περίπτωση πορωδών μέσων τα οποία περιέχουν άργιλο οι γραμμικές εξισώσεις (1) και (2) οδηγούν σε υπερεκτίμηση της σ_p. Αυτό προφανώς θα οφείλεται στο ότι στην περίπτωση αυτή υπάρχουν και άλλοι παράγοντες (προσροφημένα ιόντα στις επιφάνειες των αργιλικών ορυκτών) εκτός της υγρής φάσης του διαλύματος οι οποίοι συμβάλουν στην αύξηση της σ_b και συνεπώς της σ_p.

2.2. Γραμμικό μοντέλο του Hilhorst (2000)

Ο Hilhorst (2000), στηριζόμενος στις εργασίες των Malicki et. al., (1994) και Malicki & Walczak (1999), σύμφωνα με τις οποίες η σ_b κι η ε σχετίζονται σε μεγάλο βαθμό γραμμικά για ένα ευρύ φάσμα εδαφικών τύπων, παρουσίασε μία σχέση των

σ_p - σ_b -ε. Η σχέση $\sigma_p = f(\sigma_b; \varepsilon)$ είναι:

$$\sigma_p = \frac{\varepsilon_p}{\varepsilon - \varepsilon_0}\sigma_b \quad (3)$$

όπου ε_p είναι η διηλεκτρική σταθερά του εδαφικού νερού, που μπορεί να υποτεθεί ότι είναι ίση με αυτή του νερού (ε_p =80), και ε_0 είναι η τιμή της ε όταν σ_b = 0. Κατ' αυτό τον τρόπο η (3) μπορεί να λυθεί ως προς $\varepsilon = f(\sigma_b; \sigma_p)$

$$\varepsilon = \frac{\varepsilon_p}{\sigma_p}\sigma_b + \varepsilon_0 \quad (4)$$

και έτσι $\frac{\partial \varepsilon}{\partial \sigma_b} = \frac{\varepsilon_p}{\sigma_p}$

όπου η κλίση είναι αντιστρόφως ανάλογη της σ_p του εδαφικού νερού. Από τη γραμμική σχέση ε = f (σ_b), μπορεί να βρεθεί η κλίση $\partial\varepsilon/\partial\sigma_b$ και ο σταθερός όρος (ε_0).

Ο Hilhorst βρήκε ότι η ε_0 παίρνει τιμές από 1.9 ως 7.6. Αν και η ε_0 μπορεί να βρεθεί πειραματικά για κάθε εδαφικό τύπο, προτάθηκε ως αντιπροσωπευτική τιμή για όλους τους τύπους εδαφών η τιμή 4.1. Η (3) μπορεί να εφαρμοστεί στις περιπτώσεις όπου θ > 0.1 cm^3/cm^3. Το μοντέλο του Hilhorst φαίνεται να είναι μια απλουστευμένη ειδική περίπτωση του μοντέλου των Rhoades et. al. (1976), με την έννοια ότι δεν λαμβάνει υπόψη ότι η σ_p μπορεί να επηρεαστεί από την αγωγιμότητα της επιφάνειας των στερεών του εδάφους την οποία θεωρεί 0 (Regalado et. al., 2007).

3. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

3.1. Αισθητήρας WET

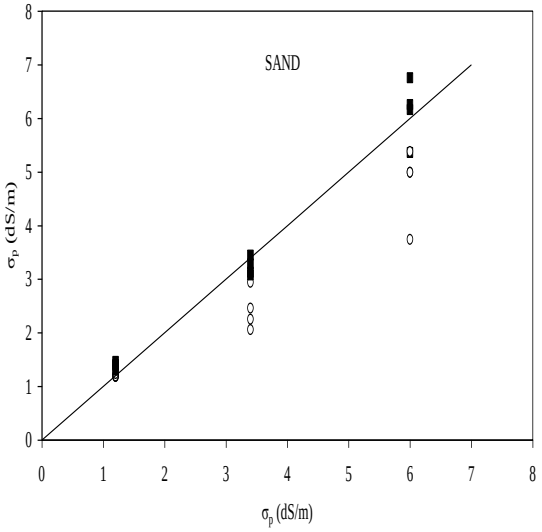
Πρόκειται για έναν καινούριο διηλεκτρικό αισθητήρα, που εκτιμά τη διηλεκτρική σταθερά με ηλεκτρομαγνητικό κύμα συχνότητας 20MHz. Ο αισθητήρας ανιχνεύει τις μεταβολές στο ηλεκτρομαγνητικό κύμα και στέλνει την πληροφορία αυτή στο μετρητή υγρασίας HH2, με τον οποίο είναι συνδεδεμένος (Delta –T Devices Ltd, 2005). Η ε_0 έχει την προεπιλεγμένη τιμή 4.1. Η σ_p υπολογίζεται από το γραμμικό μοντέλο το οποίο εφαρμόζεται για θ>0.1 cm^3/cm^3. Οι προβλέψεις του αισθητήρα WET για την σ_b μπορούν να θεωρηθούν εξίσου καλές με αυτές της μεθόδου TDR, σύμφωνα με τους Regalado et. al., (2007).

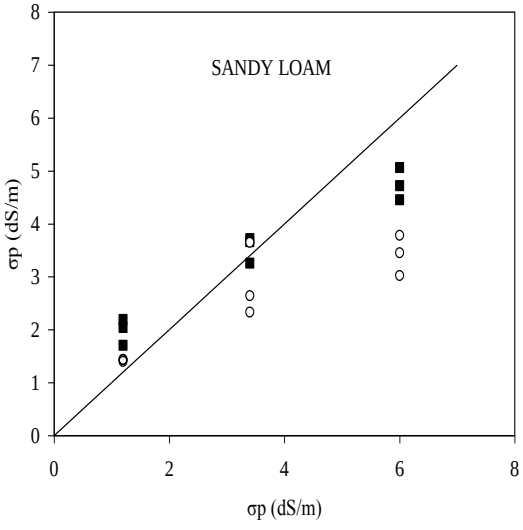
3.2 Μετρήσεις στα εδάφη

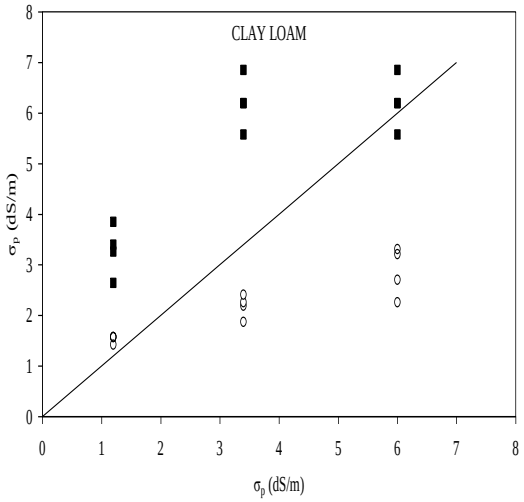
Χρησιμοποιήθηκαν τρία πορώδη μέσα (αμμώδες, αμμοπηλώδες και αργιλοπηλώδες έδαφος). Τα πορώδη μέσα ξηράνθηκαν σε φούρνο στους 105ºC για 24 ώρες. Έπειτα, συσκευάστηκε συγκεκριμένη μάζα κάθε ξηρού πορώδους μέσου σε PVC κατασκευές διαστάσεων 25*15*10 cm, προκειμένου να έχουμε σταθερή φαινόμενη πυκνότητα για το κάθε πορώδες μέσο. Στα ξηρά δείγματα, προστίθετο διάλυμα KCl γνωστής συγκέντρωσης, ώστε να επιτευχθεί η προκαθορισμένη υγρασία, από μηδενική ως σχεδόν τον κορεσμό, με σταθερά βήματα Δθ=0.05 cm^3/cm^3. Ο αισθητήρας τοποθετήθηκε κάθετα στη μέση του κυλίνδρου. Οι μετρήσεις πάρθηκαν με τη συσκευή ανάγνωσης δεδομένων HH2. Για κάθε τύπο εδάφους και για κάθε επίπεδο υγρασίας και αλατότητας, εκτός από την ε και τη θ, προσδιορίστηκε η σ_b και υπολογίστηκε άμεσα η σ_p με το γραμμικό μοντέλο Hilhorst (2000). Επίσης με τη βοήθεια των δεδομένων των σ_b και θ υπολογίστηκε η σ_p με βάση το μοντέλο του Archie's.

4.ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Από τα αποτελέσματα φαίνεται ότι στην άμμο το μοντέλο Archie δίνει σε όλα τα επίπεδα αλατότητας πολύ καλές προσεγγίσεις με τις πραγματικές τιμές της σ_p για όλες







Σχήμα 1: Σύγκριση μεταξύ των τιμών της σ_p από το μοντέλο Archie και το γραμμικό μοντέλο (κατακόρυφος άξονας) με τις προκαθορισμένες τιμές της σ_p (1.25,3.4 και 6 dS/m) (οριζόντιος άξονας) . Τα αποτελέσματα του μοντέλου Archie παριστάνονται με μαύρα τετράγωνα ενώ του γραμμικού μοντέλου με κύκλο. Η ευθεία αναπαριστά την σχέση 1:1.

τις τιμές θ μεγαλύτερες από 0.2 cm^3/cm^3. Αφού οι εμπειρικοί συντελεστές του μοντέλου αναφέρονται κυρίως στην άμμο, από τα αποτελέσματα φαίνεται ότι οι τιμές της σ_b που προσδιορίζονται από τον WET είναι ακριβείς. Στα υπόλοιπα εδάφη φαίνεται ότι το μοντέλο αποτυγχάνει στην χαμηλή αλατότητα (1.2 dS/m) και μάλιστα η απόκλιση είναι αυξανόμενη με την αύξηση της περιεκτικότητας σε άργιλο. Το φαινόμενο αυτό είναι αναμενόμενο αφού στα εδάφη η σ_b δεν προκύπτει μόνο από την αλατότητα του διαλύματος που χορηγείται αλλά και από την συνεισφορά τον ιόντων που υπάρχουν στην επιφάνεια των αργίλων. Έτσι λόγω της αυξανόμενης σ_b θα προκύπτει από το μοντέλο και αυξανόμενη σ_p. Προφανώς με την αύξηση της αλατότητας των διαλυμάτων (6 dS/m) η συνεισφορά σαν ποσοστό των επιφανειακών ιόντων θα μειώνεται με αποτέλεσμα η σ_b να καθορίζεται κυρίως από την αλατότητα του διαλύματος. Έτσι το μοντέλο θα προβλέπει γενικά σωστά τις τιμές της σ_p. Ανεξήγητη είναι η αποτυχία του μοντέλου στην αλατότητα 6 dS/m στο αμμοπηλώδες έδαφος.

Το γραμμικό μοντέλο δείχνει να υποεκτιμά την αλατότητα όσο αυξάνεται η αλατότητα του διαλύματος [3.4 και 6 (dS/m)] ενώ δίνει αρκετά ικανοποιητικές τιμές στην μικρότερη τιμή. Αυτό σημαίνει ότι για μικρές τιμές της αλατότητας μπορεί να δώσει ικανοποιητικές προβλέψεις της σ_p ανεξάρτητα από το είδος του εδάφους. Οι προβλέψεις αυτές είναι καλύτερες όσο πιο αμμώδες είναι το έδαφος.

Πρέπει να υπενθυμίζουμε ότι αυτές οι εκτιμήσεις ισχύουν για τιμές θ μεγαλύτερες από 0.20 cm^3/cm^3. Ο τιμή αυτή της θ δεν είναι ιδιαίτερα περιοριστική αφού στην αρδευόμενη γεωργία οι τιμές της θ είναι συνήθως μεγαλύτερες.

Από τα παραπάνω αποτελέσματα φαίνεται ότι οι δύο μέθοδοι με δεδομένα από τον αισθητήρα WET μπορούν να αξιοποιηθούν συμπληρωματικά. Για μικρές τιμές αλατότητας σ_p<1.2 dS/m μπορεί να χρησιμοποιηθεί το γραμμικό μοντέλο ενώ για μεγαλύτερες τιμές το μοντέλο του Archie. Στα λεπτόκοκκα εδάφη αν επιζητούμε μεγάλη ακρίβεια είμαστε αναγκασμένοι να καταφύγουμε σε πιο σύνθετα μοντέλα π.χ Rhoades et.al., 1976; Κάργας κ.α. 2012.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τα πειραματικά δεδομένα προέκυψε ότι ο αισθητήρας προσεγγίζει σωστά την τιμή της σ_b. Εάν αυτά τα δεδομένα χρησιμοποιηθούν στα μοντέλα του Archie και το γραμμικό τότε προκύπτει ότι όσο πιο πολύ άργιλο περιέχει ένα μέσο τόσο μεγαλύτερη απόκλιση θα εμφανίζεται με το μοντέλο του Archie στις χαμηλές τιμές της σ_p. Αντίθετα στις μεγάλες τιμές της σ_p τα αποτελέσματα μπορεί να είναι αποδεκτά. Αντίθετα το γραμμικό μοντέλο δίνει σχετικά καλά αποτελέσματα στις χαμηλές σ_p ενώ υποεκτιμά σοβαρά στις μεγαλύτερες τιμές. Αποτέλεσμα των παραπάνω είναι η δυνατότητα τα δύο μοντέλα να μπορούν χρησιμοποιηθούν συμπληρωματικά.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ξενόγλωσση βιβλιογραφία

Amente G, Baker M and C. Reece 2000. Estimation of soil electrical conductivity from bulk soil electrical conductivity in sandy soil. Soil Sci. Soc. Amer. Journal 64:1931-1939.

Archie G.E.1942. The electric resistivity log as an aid in determining some reservoir characteristics, Trans. Am. Inst. Min. Metll. Pet. Eng. 146:54-62.

Corwin D 2002. In Methods of soil analysis, Part 4-Physical Methods. Published by Soil Science Society of America, pp1287-1289

Corwin D.and Hendrickx J. 2002. In Methods of soil analysis, Part 4-Physical Methods. Published by Soil Science Society of America, pp1282-1287.

Decagon devices, Inc. 2008. Operator's Manual Version 3.

Delta –T Devices Ltd. 128. Low road Burwell CAMBRIDGE CB5 OEJ. UK. www:http://www.delta-t.co.uk. User manual for the WET sensor (type WET-2),2005.

Hamed Y, M. Persson and R. Berndtsson, 2003. Soil solution electrical conductivity measurements using different dielectric techniques. Soil Sci. Soc. Amer. Journal 67: 1071-1077.

Hilhorst M.A. 2000. A pore water conductivity sensor. Soil Sci. Soc. Amer. Journal 64: 1922-1925.

Kargas G. and Kerkides p. 2010. Evaluation of a dielectric sensor for measurements of soil water electrical conductivity. Journal of Irrigation and Drainage Engineering 136(8):553-558.

Kargas, G., P. Kerkides. 2012. Comparison of two models in predicting pore water electrical conductivity in different porous media. Geoderma 189:563-573.

Keller G.V. 1994. Rock and Mineral properties. In M.N. Nabighian (ed). Electromagnetic methods in applied geophysics pp 13-52. In Theory vol.1. Investigation in Geophysics 3.Society of Exploration Geophysists, Tusla, OK.

Malicki M. and R. Walczak, 1999. Evaluating soil salinity status from electrical conductivity and permittivity. Eur. Journal soil science 50:505-514.

Malicki M., Walczak R, Koch S and Fluhler H. 1994. Determining soil salinity from simultaneous readings of its electrical conductivity and permittivity using TDR. In :Proceedings of the symposium on Time Domain Reflrctometry in Environmental, Infrastructure and Mining Applications (Evanston, Illinois, 7-9 September, 1994),328-336. US Bureau of Mines, special publication SP 19-94, NTIS PB-105789.

Mualem Y. and S. Friedman, 1991. Theoretical prediction of electrical conductivity in saturated and unsaturated soil. Water Resour. Res. 27:2771-2777.

Persson M., 2002. Evaluating the linear dielectric constant – electrical conductivity model using time domain reflectometry. Hydrological Sciences 47: 269-277.

Regalado C., A. Ritter and R. M. Rodriguez-Gonzalez, 2007. Performance of the commercial WET capacitance sensor as compared with Time domain reflectometry in volcanic soils. Vadoze zone Journal 6:244-254.

Rhoades J, P. Ratts and R. Prather, 1976. Effects of liquid-phase electrical conductivity, water content, and surface conductivity on bulk soil electrical conductivity. Soil Sci. Soc. Amer. Journal 40:651-655.

Rhoades J.D., Manteghi N.A, Shouse P.J., Alves W.J. 1989. Soil electrical conductivity and soil salinity: new formulations and calibrations. Soil Sci. Soc. Amer. Journal 53:433-439.

U.S. Salinity Laboratory Staff. 1954. Diagnosis and Improvement of saline and alkali soils. USDA Handb. 60. U.S. Gov. Print. Office, Washington, DC.

Ελληνική βιβλιογραφία

Κάργας Γ., Χριστοφίδου Δ., Κερκίδης Π. 2012. Σύγκριση δύο μοντέλων πρόβλεψης της αλατότητας του εδαφικού διαλύματος από δεδομένα διηλεκτρικών συσκευών. 2ο Κοινό Συνέδριο ΕΥΕ-ΕΕΔΥΠ, σελ. 858-869, Πάτρα 11-13/10/2012

ΔΙΑΘΕΣΙΜΟΤΗΤΑ ΦΩΣΦΟΡΟΥ ΣΕ *LOLIUM PERENNE* L. ΣΕ ΕΔΑΦΗ ΟΞΙΝΑ ΠΟΥ ΕΧΟΥΝ ΒΕΛΤΙΩΘΕΙ ΜΕ ΠΡΟΣΘΗΚΗ ΑΝΘΡΑΚΙΚΟΥ ΑΣΒΕΣΤΙΟΥ

Β. Αντωνιάδης[1], Π. Μαλτέζος[2], Χ. Χούμος[2] και Κουτρούμπας, Σ.[2]
[1]Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, Οδός Φυτόκου, 384 46, Ν. Ιωνία, Μαγνησία. Email. vasilisrev@yahoo.com.
[2]Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης, Τμήμα Αγροτικής Ανάπτυξης, Πανταζίδου 193, 682 00, Ορεστιάδα,

Σε όξινα εδάφη η διαθεσιμότητα του φωσφόρου είναι ιδιαίτερα χαμηλή. Η ασβέστωση του εδάφους εκτός από την αύξηση του pH προκαλεί και αύξηση της κινητικότητας του φωσφόρου, κάτι που συμβαίνει και με γενναίες λιπάνσεις των όξινων εδαφών. Ωστόσο δεν είναι γνωστό ποια από τις δύο πρακτικές (ασβέστωση ή λίπανση) φέρνει καλύτερα και μονιμότερα αποτελέσματα. Για αυτό σε όξινο έδαφος (pH 4,57) έγινε βελτίωση σε pH 6,5, προστέθηκε P και στα εδάφη αυτά καλλιεργήθηκε *Lolium perenne* L. σε γλάστρες. Στην καλλιέργεια έγιναν 3 κοπές (κατά τις Ημέρες 40, 80 και 120) για να αξιολογηθεί η δυναμική του P σε καθεμιά από τις μεταχειρίσεις. Όπως ήταν αναμενόμενο, βρέθηκε ότι η βιομάζα αυξήθηκε σημαντικά με την ασβέστωση. Επίσης βρέθηκε ότι η συγκέντρωση του P στη βιομάζα αυξήθηκε στη μεταχείριση της ασβέστωσης αλλά όχι σε εκείνη της λίπανσης, αν και η διαφορά μετριάστηκε την Ημέρα 120. Αυτό δείχνει ότι σε εδάφη έντονα όξινα είναι προτιμότερη η ασβέστωση, αν και τα ευεργετικά αποτελέσματα της ασβέστωσης διήρκεσαν μόνο 4 μήνες. Ίδια εικόνα παρουσίασαν και οι εκχυλίσεις του P στο έδαφος.

Λέξεις κλειδιά: διαθεσιμότητα φωσφόρου, όξινο έδαφος, ασβέστωση.

PHOSPHORUS AVAILABILITY IN *LOLIUM PERENNE* L. IN ACIDIC AND LIMED SOILS

V. Antoniadis[1], P. Maltezos[2], H. Houmos[2], and S.D. Koutroubas
[1]Laboratory of Soil Science, Department of Agriculture Crop Production and Rural Environment, University of Thessaly, Fytokou Street, N. Ionia, GR-38446, Volos, Greece. antoniadis@uth.gr
[2]Democritus University of Thrace, Department of Agricultural Development, Pantazidou 193, 682 00, Orestiada, Greece

In acidic soils P availability is very low. Soil liming may increase P mobility, but this increase may also be achieved with generous P fertilizer applications. However, it is not well known which of the two practice have better and longer-term effects. Thus in a pot experiment, an acidic soil (pH 4.57), limed to pH 6.5, was added with P and sown with *Lolium perenne* L. We conducted 3 cuttings (on Days 40, 80 and 120) in order to evaluate P dynamics in each of the treatments. As expected, biomass increased significantly with liming. We also found that plant P concentration increased in the liming treatment, but not in the P-added treatment, although the difference was reduced on Dat 120. This shows that in low pH soils, liming should be preferred over P addition, although the beneficial effects may not last for a very long time (in this experiment, they lasted for 4 months). Same conclusions were drawn from P extractions in soil.

Key words: Phosphorus availability, acidic soil, liming.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Όξινα εδάφη είναι εκείνα με pH<7, αλλά σοβαρά προβλήματα εμφανίζονται όταν pH<5,5. Όξινα εδάφη δημιουργούνται όταν οι βάσεις του εδάφους (δηλαδή τα ανταλλάξιμα «βασικού χαρακτήρα» κατιόντα Ca^{2+}, Mg^{2+}, K^{+} και Na^{+}) εκπλένονται λόγω υψηλών βροχοπτώσεων ή όταν οξινοποιές δραστητριότητες, φυσικές ή ανθρωπογενείς εισάγουν στο έδαφος περισσότερη οξύτητα από όση αυτό μπορεί να απορροφήσει (Essington, 2004). Σε τέτοια εδάφη τα «οξινου χαρακτήρα» κατιόντα Al^{3+} και Fe^{3+} έχουν υψηλή ενεργότητα στο εδαφικό διάλυμα, και η διαλυτότητά τους ρυθμίζεται από στερεές κολλοειδείς επιφάνειες οξειδίων των στοιχείων αυτών, επειδή τα οξείδια είναι σε υψηλότερη περιεκτικότητα σε όξινα (και άρα περισσότερο αποσαθρωμένα) εδάφη (Igwe et al., 2010). Τα οξείδια Al και Fe δεσμεύουν ικανές ποσότητες P, και άρα σε όξινα εδάφη αναμένουμε χαμηλή διαθεσιμότητα P (Molina et al., 2012). Η ασβέστωση του εδάφους εκτός από την αύξηση του pH προκαλεί δραστική μείωση των ενεργοτήτων των Fe^{3+} και Al^{3+}, και άρα αύξηση της κινητικότητας του φωσφόρου. Αύξηση της κινητικότητας του P μπορεί επίσης να επιτευχθεί σε όξινα εδάφη και με γενναίες και τακτικές P λιπάνσεις (Brady and Weil, 2007). Ωστόσο δεν είναι γνωστό ποια πρακτική από τις δύο (ασβέστωση ή P-λίπανση) φέρνει τα καλύτερα και μονιμότερα αποτελέσματα. Η πρώτη λύση (ασβέστωση) αντιμετωπίζει την «ασθένεια», ενώ η δεύτερη λύση μάλλον το «σύμπτωμα». Σκοπός της εργασίας ήταν να αξιολογηθούν η ασβέστωση και η P-λίπανση ως τρόποι αντιμετώπισης της χαμηλής διαθεσιμότητας P σε ένα όξινο έδαφος σε καλλιέργεια *Lolium perenne* L.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Δείγμα 100 kg όξινου εδάφους ελήφθη από την Λεπτή Έβρου. Αεροξηράνθηκε, πέρασε από κόσκινο 2 mm, κρατήθηκαν 60 kg εδάφους για τις ανάγκες του βιολογικού πειράματος και περίπου 1 kg για τις αναλύσεις χαρακτηρισμού (pH 4,57, άργιλος 12.9%, άμμος 73.7%, υφή πηλοαμμώδης, ΙΑΚ 15,5 $cmol_c\ kg^{-1}$, και οργανικός C 1,18%), σύμφωνα με τον Rowell (1994). Τα 60 kg εδάφους χωρίστηκαν σε δύο μέρη των 30 kg. Το ένα μισό έμεινε ως ήταν, και η μεταχείριση αυτή ονομάζεται στο εξής L0 (χωρίς προσθήκη ασβέστωσης, *lime*). Το δεύτερο μισό αναμίχθηκε με 300 g κοσκινισμένης από κόσκινο 1 mm μαρμαρόσκονης (περιείχε 70% ισοδύναμου καθαρού $CaCO_3$), προσθήκη που είχε υπολογιστεί σε προηγούμενη εργασία ότι βελτιώνει το pH σε μια τιμή-στόχο ίση με 6,5. Η μεταχείριση αυτή ονομάζεται στο εξής L1. Επίσης παρασκευάστηκαν διαλύματα P1 και P2, ως εξής: Το διάλυμα P1 αποτελούνταν από 0,528 g $KH_2PO_4\ L^{-1}$ και το διάλυμα P2 από 1,056 g $KH_2PO_4\ L^{-1}$. Κατόπιν σε 9 γλάστρες ζυγίστηκαν 3 kg δείγματος L0 και σε άλλες 9 γλάστρες από 3 kg δείγματος L1. Έγιναν οι εξής μεταχειρίσεις:

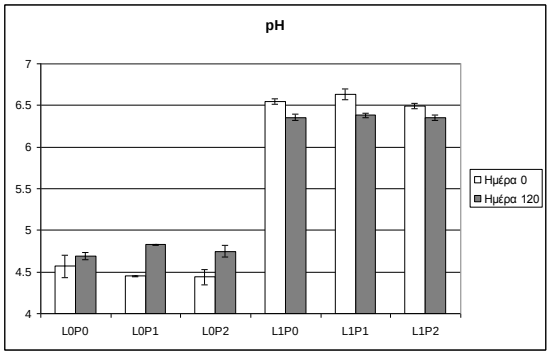
- L0P0: Χορήγηση μόνο H_2O στο L0
- L0P1: Χορήγηση «διάλυματος P1» στο L0 (αντιστοιχεί με προσθήκη 40 mg P kg^{-1} εδάφους ή 37 kg P_2O_5 ανά στρέμμα, υπολογισμένο για βάθος ενσωμάτωσης 30 cm και ΦΕΒ = 1,33 g cm^{-3})
- L0P2: Χορήγηση «διάλυματος P2» στο L0 (αντιστοιχεί με προσθήκη 80 mg P kg^{-1} εδάφους ή 74 kg P_2O_5 ανά στρέμμα)
- L1P0: Χορήγηση μόνο H_2O στο L1
- L1P1: Χορήγηση «διάλυματος P1» στο L1 (προσθήκη P όπως στο L0P1)
- L1P2: Χορήγηση «διάλυματος P2» στο L2 (προσθήκη P όπως στο L0P2)

Με τον σχεδιασμό αυτόν είχαμε 18 γλάστρες ως εξής: 2 τιμές pH (L0 και L1) x 3 επίπεδα P (P0, P1 και P2) x 3 επαναλήψεις. Οι γλάστρες διυγράνθηκαν στα 2/3 της εκτιμώμενης υδατοϊκανότητας του συγκεκριμένου εδάφους (για πηλοαμμώδες έδαφος ελήφθη ίση με 25%, άρα τα 2/3 αυτής είναι 17% ή 500 mL H_2O ανά 3 kg εδάφους) με H_2O (στο P0) ή με θρεπτικά διαλύματα (στα P1 και P2), αφέθηκαν να ισορροπήσουν για μία εβδομάδα, και κατόπιν φυτεύθηκαν με 2 g σπόρων *Lolium perenne* ανά γλάστρα. Το πείραμα διήρκεσε 120 ημέρες, από τον Φεβρουάριο έως τον Ιούνιο 2010. Κατά τη διάρκεια του πειράματος οι γλάστρες μετακινούνταν τυχαία μία φορά την εβδομάδα για να αποτραπούν τυχόν επιδράσεις θερμοκρασίας ή σκιασμού μέσα στο θερμοκήπιο. Η υγρασία των γλαστρών διατηρούνταν στο 17% v/w ανά γλάστρα με τακτική ζύγιση των γλαστρών και αναπλήρωση της ποσότητας νερού που είχε εξατμιστεί με απιονισμένο H_2O.

Κατά τη διάρκεια του πειράματος ελήφθησαν εδαφικά δείγματα από 3 διαφορετικά σημεία από τις γλάστρες, τα οποία ενσωματώνονταν σε ένα δείγμα, κατά τις Ημέρες 1 (έναρξη πειράματος που συμπίπτει με την ημέρα της φύτευσης), 40, 80 και 120. Στα δείγματα (αφού αυτά αεροξηρανθηκαν και κοσκινίστηκαν σε κόσκινο 2 mm) μετρήθηκε ο εκχυλίσιμος κατά Olsen P. Επίσης στην αρχή και στο τέλος του πειράματος (Ημέρες 1 και 120 μόνο) μετρήθηκε το pH, για να ελεγχθεί η βελτίωσή του εδάφους. Η υπέργεια βιομάζα της καλλιέργειας συγκομίστηκε με μεταλλικό ψαλίδι σε ύψος 1 cm πάνω από την επιφάνεια του εδάφους κατά τις Ημέρες 40, 80 και 120. Μετά τις Ημέρες 40 και 80 η βιομάζα αφήνονταν να αναπτυχθεί εκ νέου. Τα φυτικά δείγματα πλένονταν με απιονισμένο νερό, τοποθετούνταν σε χάρτινες προζυγισμένες σακούλες σε φούρνο με θερμοκρασία 70 ^oC μέχρι την μη περαιτέρω μείωση του βάρους τους, ζυγίζονταν για την εκτίμηση της ξηρής υπέργειας βιομάζας, εκχυλίζονταν με τη μέθοδο dry ashing κατά Jones *et al*. (1990) (εν συντομία, 0,5 g φυτικού υλικού αποτεφρώνονταν στους 500 ^0C για 5 ώρες και η τέφρα παραλαμβάνονταν με 20 mL 20% HCl σε ογκομετρική φιάλη των 50 mL) και μετριούνταν για την περιεκτικότητά τους σε P.

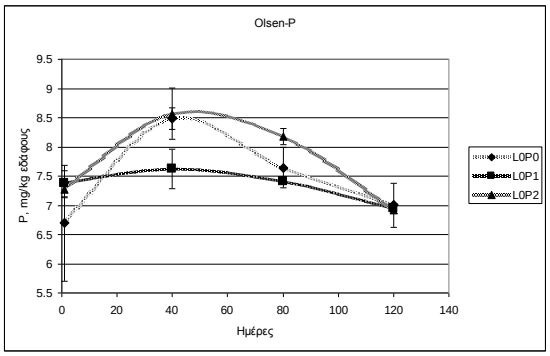
Τα δεδομένα αναλύθηκαν στατιστικά με ANOVA και οι ελάχιστες σημαντικές διαφορές (LSD) μεταξύ μέσων όρων υπολογίστηκαν για επίπεδο σημαντικότητα μεγαλύτερο του 95% (p<0.05) με το στατιστικό πακέτο Statgraphics 2.1.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

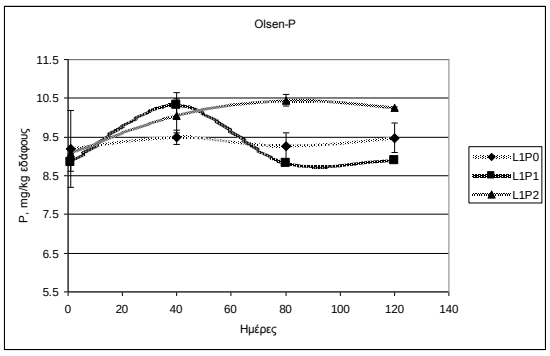


Σχήμα 1. Το pH των εδαφικών δειγμάτων.

Το pH των εδαφών βελτιώθηκε με επιτυχία με την προσθήκη του υλικού ασβέστωσης στην τιμή – στόχο του pH 6,5 στην μεταχείριση L1 (Σχήμα 1). Ωστόσο στην μέτρηση που έγινε για λόγους ελέγχου στο τέλος του πειράματος, την Ημέρα 120, βρέθηκε ότι το pH μεταχείρισης L1 μειώθηκε σημαντικά, κατά ένα σταθερό βαθμό και στις 3 μεταχειρίσεις του L1. Αυτό ήταν κάτι αναμενόμενο καθώς τα όξινα εδάφη μετά την αρχική βελτίωσή τους με τα υλικά ασβέστωσης, σημειώνουν μια βαθμιαία μείωση του pH, η οποία θα επανέλθει στην αρχική όξινη τιμή μετά την παρέλευση κάποιων μηνών ή ίσως και ετών. Το χρονικό διάστημα που θα χρειαστεί για να υποβιβαστεί το pH εξαρτάται από τη ρυθμιστική ικανότητα του εδάφους, η οποία με τη σειρά της εξαρτάται ευθέως ανάλογα από την περιεκτικότητα σε άργιλο (da Silva et al., 2008). Στο δικό μας πείραμα, όπου η περιεκτικότητα σε άργιλο είναι χαμηλή (12,9%), φαίνεται ότι η ρυθμιστική ικανότητα του εδάφους είναι τόσο μικρή ώστε η μείωση του pH να γίνεται ορατή και μετρήσιμη ακόμα και 4 μήνες



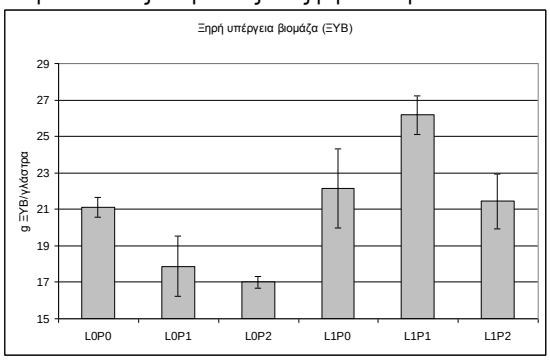
Σχήμα 2. Η δυναμική του εκχυλίσιμου P κατά Olsen κατά τη διάρκεια του πειράματος (Ημέρες 0 έως 120) στις μεταχειρίσεις των L0 (όξινο έδαφος).



Σχήμα 3. Η δυναμική του εκχυλίσιμου P κατά Olsen κατά τη διάρκεια του πειράματος (Ημέρες 0 έως 120)στις μεταχειρίσεις των L1 (βελτιωμένο έδαφος).

μετά τη βελτίωσή του. Σε αντίθεση με τις μεταχειρίσεις του L1, εκείνες του L0P1 και L0P2 σημείωσαν σημαντική αύξηση ως προς το pH με το χρόνο. Αξίζει να σημειωθεί ότι σε αυτές τις μεταχειρίσεις προστέθηκε και K. Άρα η αύξηση του pH είναι πιθανό να οφείλεται σε αυτό το βασικού χαρακτήρα κατιόν, το οποίο αυξάνει το βαθμό κορεσμού σε βάσεις του εδάφους, και άρα και το pH του. Είναι χαρακτηριστικό ότι στο L1P0 τέτοια αύξηση δεν παρατηρήθηκε (η τιμή pH παρέμεινε σταθερή την Ημέρα 120 σε σχέση με αυτήν της Ημέρας 1), λόγω της μη προσθήκης K.

Όσο αφορά την εκχύλιση P στο έδαφος (κατά Olsen), φαίνεται ότι οι τιμές είναι από 6,5 έως 7,5 mg kg^{-1} στα όξινα εδάφη, χωρίς σημαντική τάση επιπλέον αύξησης με την προσθήκη P (δηλαδή οι μεταχειρίσεις L0P0, L0P1 και L0P2 δεν φαίνεται να διαφέρουν σημαντικά, Σχήμα 2). Ωστόσο, στα βελτιωμένα εδάφη ο εκχυλίσιμος P είναι σημαντικά αυξημένος σε σχέση με τα όξινα (με τιμές από 8,5 έως 9,5 mg kg^{-1}). Αυτό δείχνει τη σημαντική επίδραση της ασβέστωσης του εδάφους, η οποία από μόνη της, χωρίς την επιπλέον προσθήκη P αυξάνει την εκχυλισιμότητα του P από το έδαφος. Όπως και στο L0, οι 3 μεταχειρίσεις του L1 δεν διέφεραν σημαντικά. Η μη αύξηση του εκχυλίσιμου P, παρόλη την προσθήκη γενναίων ποσοτήτων P (37 λιπαντικές μονάδες φωσφόρου ανά στρέμμα στο P1 και 74 στο P2), είναι κάτι που δεν το αναμέναμε, και ενδέχεται να οφείλεται στην κυριαρχία των οξειδίων του Fe και του Al στα εδάφη, τα οποία τείνουν να δεσμεύουν στις επιφάνειές τους μη αντιστρεπτά το P



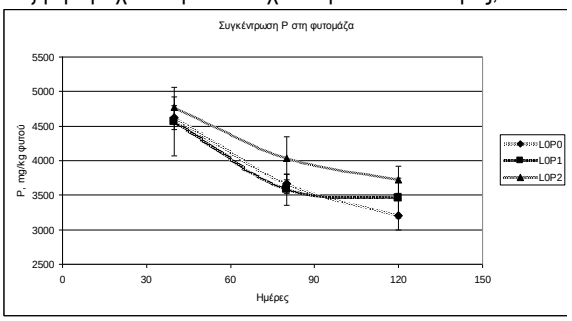
Σχήμα 4. Αθροιστικό βάρος (σε g ανά γλάστρα) ξηρής υπέργειας βιομάζας που συγκομίστηκε κατά τη διάρκεια του πειράματος (κατά τις Ημέρες 40, 80 και 120).

(Alleoni et al., 2012). Από ό,τι φαίνεται, ακόμα και στα βελτιωμένα εδάφη, τα οξείδια απορρόφησαν σε πολύ μεγάλο βαθμό την προσθήκη P, έτσι ώστε να μην εκδηλωθεί αύξηση της εκχυλισιμότητας του P. Η δυναμική του εκχυλίσιμου P στο έδαφος στις μεταχειρίσεις του L0 δείχνει ότι το έδαφος «αντέδρασε» στην προσθήκη P 40 ημέρες μετά την προσθήκη του (γιατί η Ημέρα 40 είναι σημαντικά αυξημένη σε σχέση με την Ημέρα 1), αλλά ότι κατόπιν οι τιμές μειώθηκαν και εξισώθηκαν με τον μάρτυρα (L0P0, Σχήμα 2). Αυτό σημαίνει ότι προσθήκη P ακόμα και σε εξαιρετικά μεγάλες συγκεντρώσεις σε όξινο έδαφος ενδέχεται να μην έχει τα αναμενόμενα αποτελέσματα, αν υπάρχουν άλλοι σημαντικοί εδαφικοί λόγοι που δρουν περιοριστικά (εδώ, οι επιφάνειες των οξειδίων στο όξινο έδαφος). Στις μεταχειρίσεις του L1, το L1P2 κρατήθηκε υψηλά, σε τιμές σημαντικά μεγαλύτερες από εκείνες των L1P0 και L1P1 (Σχήμα 3), κάτι που καταδεικνύει την αναγκαιότητα βελτίωσης των δυσμενών συνθηκών ενός εδάφους (εδώ του όξινου χαρακτήρα του) πριν προβούμε σε βελτίωση του επίπεδου της γονιμότητά του.

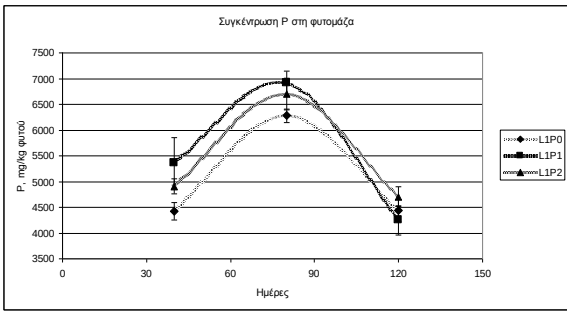
Με την προσθήκη υλικού ασβέστωσης η καλλιέργεια αύξησε την παραγωγικότητά της (ξηρή υπέργεια βιομάζα), αλλά, αντίθετα, η προσθήκη P δεν είχε καμία επιπλέον θετική επίδραση (Σχήμα 4). Σε αντίθεση με αυτό, φαίνεται ότι η προσθήκη μείωση σημαντικά την βιομάζα. Ίσως αυτό να οφείλεται σε αύξηση της αλατότητας των μιγμάτων λόγω της προσθήκης ιδιαίτερα υψηλών συγκεντρώσεων P και K με τη μορφή του ανόργανου άλατος KH_2PO_4.

Η συγκέντρωση P στη φυτομάζα επηρεάστηκε σημαντικά από την βελτίωση του εδάφους με υλικό ασβέστωσης, και όχι τόσο πολύ από την προσθήκη P, κάτι που φαίνεται στις 2 πρώτες κοπές της βιομάζας (Ημέρες 40 και 80, Σχήματα 5 και 6). Στην τελευταία κοπή της Ημέρας 120, φαίνονται κάποιες διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων προσθήκης κλιμακούμενων δόσεων P, αλλά είναι φανερό ότι πολύ πιο δραματική διαφορά είναι εκείνη μεταξύ όξινου και βελτιωμένου εδάφους (προσέξτε τη διαφορά της κλίμακας των αξόνων y στα Σχήματα 5

και 6). Αυτό, όπως φάνηκε και πιο πάνω στη συζήτηση σχετικά με τον εκχυλίσιμο P στο έδαφος,



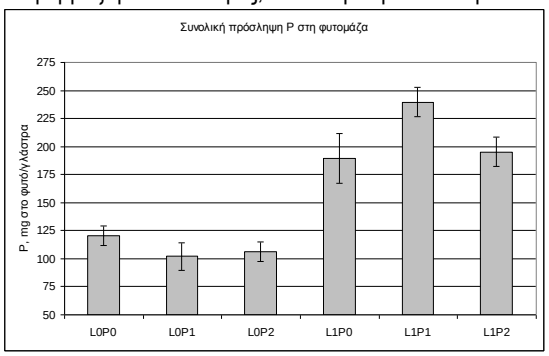
Σχήμα 5. Η δυναμική της συγκέντρωσης φωσφόρου στην φυτομάζα κατά τη διάρκεια του πειράματος (Ημέρα 0 έως 120) για τις μεταχειρίσεις των L0 (όξινο έδαφος).



Σχήμα 6. Η δυναμική της συγκέντρωσης φωσφόρου στην φυτομάζα κατά τη διάρκεια του πειράματος (Ημέρα 0 έως 120) για τις μεταχειρίσεις των L1 (βελτιωμένο έδαφος).

καταδεικνύει την αναγκαιότητα βελτίωσης του εδάφους όταν πρόκειται για ισχυρά όξινο (όπως αυτό που μελετήσαμε εδώ) πριν γίνει προσπάθεια βελτίωσης του επιπέδου της γονιμότητάς του. Στην καταγραφή της δυναμικής του P της φυτομάζας με το χρόνο φαίνεται η τάση μείωσης με το χρόνο στη μεταχείριση L0, πιθανόν λόγω της ελάπτωσης της δεξαμενής του διαθέσιμου P, εξαιτίας της ισχυρής του δέσμευσης από τα οξείδια του εδάφους που συζητήθηκε παραπάνω. Στην μεταχείριση L1 διαγράφεται παρόμοια εικόνα μείωσης της συγκέντρωσης P στη φυτομάζα στο τέλος του πειράματος, αφού όμως κατά την Ημέρα 80 παρατηρείται μια σημαντική αύξηση. Αυτή η αύξηση ενδέχεται να οφείλεται στην εξισορρόπηση των μιγμάτων στις γλάστρες (η οποία φαίνεται ότι πραγματοποιήθηκε μεταξύ πρώτης και δεύτερης κοπής) και στην βελτίωση των αγρονομικών συνθηκών ανάπτυξης της καλλιέργειας που ήταν αποτέλεσμα αυτής.

Η συνολική πρόσληψη P από τη φυτομάζα (που ισούται με τη συγκέντρωση του P στη φυτομάζα x την απόδοση της φυτομάζας ανά γλάστρα) και στις 3 κοπές της φαίνεται στο Σχήμα 7. Εκεί παρατηρούμε ότι η πρόσληψη ήταν κατά πολύ μεγαλύτερη στο βελτιωμένο έδαφος σε σχέση με το όξινο, κάτι που δείχνει την κεφαλαιώδη σημασία της βελτίωσης του pH του εδάφους πριν γίνει προσπάθεια βελτίωσης της παραγωγικότητάς του με προσθήκη λιπασμάτων. Επίσης στον Πίνακα 1 φαίνεται ότι η απόδοση πρόσληψης μειώθηκε με την προσθήκη P, κάτι που ήταν μάλλον αναμενόμενο, δηλαδή όσο περισσότερο P εφαρμόζαμε στο έδαφος, τόσο λιγότερο αναλογικά



Σχήμα 7. Συνολική πρόσληψη P από τη φυτομάζα (σε mg P/γλάστρα) στην διάρκεια του πειράματος. Για σύγκριση, η προσθήκη P που έγινε στην αρχή του πειράματος ήταν 0 στην μεταχείριση P0, 120 mg P/γλάστρα στην μεταχείριση P1, και 240 mg P/γλάστρα στην μεταχείριση P2.

παρέλαβε η καλλιέργεια. Αυτό είναι κάτι που φαίνεται παραστατικά και στον L1 στο P2 η απόδοση πρόσληψης ήταν 31% ενώ στο P1 ήταν 99% (δηλαδή η καλλιέργεια αξιοποίησε σχεδόν όλο το προστιθέμενο από εδάφους P). Είναι πάντως χαρακτηριστικό ότι στις μεταχειρίσεις L0 η απόδοση πρόσληψης P είναι αρνητική, κάτι που σημαίνει ότι η καλλιέργεια πήρε πολύ περισσότερο P από ό,τι η ποσότητα που προστέθηκε, μια ανακολουθία που δεν παρατηρείται συνήθως στη βιβλιογραφία, και ενδέχεται να οφείλεται στην μείωση της βιομάζας, όπως αυτή καταγράφηκε στο Σχήμα 4.

Πίνακας 1. Αποδοτικότητα πρόσληψης (ΑΠ) P από την καλλιέργεια ως ποσοστό % της προστιθέμενης ποσότητας θρεπτικών στο πείραμα.

	Πρόσληψη P [α] mg/γλάστρα	Προσθήκη P [β] mg/γλάστρα	ΑΠ P [γ] %
L0P0	120	0	-
L0P1	102	120	-15%
L0P2	106	240	-6%
L1P0	190	0	-
L1P1	239	120	99%
L1P2	195	240	31%

α: Η συνολική πρόσληψη P και στις τρεις συγκομιδές του *L. perenne* L. β: Η προσθήκη P όπως φαίνεται στα Υλικά και Μέθοδοι. γ: % Αποδοτικότητα Πρόσληψης θρεπτικού = (Πρόσληψη θρεπτικού στη μεταχείριση – Πρόσληψη θρεπτικού στο μάρτυρα L0P0) / (Προσθήκη θρεπτικού στη μεταχείριση - Προσθήκη θρεπτικού στο μάρτυρα L0P0).

Για την πληρέστερη ερμηνεία των αποτελεσμάτων πραγματοποιήθηκαν συσχετίσεις μεταξύ παραμέτρων του πειράματος που ήταν ενδεχόμενο να επηρεάζουν το ένα το άλλο. Από τις συσχετίσεις αυτές φαίνεται ότι η συγκέντρωση P στο φυτό έχει πολύ σημαντική σχέση (r=0,555, p<0,001) με τον εκχυλίσιμο P στο έδαφος, αλλά δεν υπήρχε σημαντική σχέση μεταξύ P στο έδαφος και πρόσληψης P από τη βιομάζα, ενδεχομένως επειδή

στην πρόσληψη της βιομάζας υπεισέρχεται και η απόδοση της βιομάζας, για την οποία συζητήθηκε παραπάνω ότι δεν ακολούθησε την τάση της αύξησης που αναμένονταν. Όπως αναμένονταν με βάση την παραπάνω συζήτηση, ο P του εδάφους συσχετίστηκε σημαντικά (r=0,791, p<0,001) με το pH, όπως με το pH σε μεγάλο βαθμό σημαντικότητας (r=0,828, p<0,001) και η συγκέντρωση του P στο φυτό, όπως και η πρόσληψη του P από το φυτό (r=0,877, p<0,001). Η συσχέτιση μεταξύ απόδοσης ξηρής υπέργειας βιομάζας και P στο έδαφος δεν ήταν σημαντική, όπως διαφάνηκε και παραπάνω, ενώ η σχέση μεταξύ βιομάζας και συγκέντρωσης P στο φυτό ήταν σημαντική (r=0,373, p<0,05), όπως επίσης και βιομάζας και πρόσληψης P (r=0,926, p<0,001), κάτι που σημαίνει ότι αυξήθηκε με την αύξηση της συγκέντρωσης του θρεπτικού στην καλλιέργεια. Αυτό είναι κάτι που ήταν μάλλον αναμενόμενο (Zhang et al., 2013). Με την ανάλυση αυτή γίνεται επίσης σαφές ότι η βελτίωση του pH του εδάφους επηρέασε θετικά την ξηρή υπέργεια βιομάζα, καθώς οι 2 παράμετροι συσχετίστηκαν σημαντικά (r=0,686, p<0,01).

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- Σε ισχυρά όξινα εδάφη έχουμε μεγαλύτερη ωφέλεια όσο αφορά τη δυναμική του P με τη βελτίωση του εδαφικού pH παρά με την προσθήκη P.
- Σε τέτοια εδάφη οι ευεργετικές επιδράσεις και της ασβέστωσης και της προσθήκης P είναι μικρής διάρκειας, καθώς και η διαθεσιμότητα P μειώνεται, και το pH του εδάφους υποχωρεί σημαντικά με το χρόνο.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Alleoni, L.R.F., Fernandes, A.R., Correia, B.L. 2012. Sequential extraction of phosphorus in an Oxisol amended with biosolids in a long-term field experiment in Brazil. Agr. Ecos. Environ. 161:145-151.

Brady, N.C., and Weil, R.R. 2007. The Nature and Properties of Soils. 14th Edition, CRC Press, Boca Raton, USA.

da Silva, V., Motta, A.C.V., Melo, V.D., and Lima, V.C. 2008. Soil acidity parameters as related to clay mineralogy. Revista Brazileira Sciencia Solo 32:551-559.

Essington, E.E. 2004. Soil and Water Chemistry: An Integrative Approach. CRC Press, Boca Raton, USA.

Igwe, C.A., Zarei, M., and Stahr, K. 2010. Fe and Al oxides distribution in some ultisols and inceptisols of southeastern Nigeria in relation to soil total phosphorus. Environ. Earth Sci. 60:1103-1111.

Jones, J., Case, J.B., Case, V.W. 1990. Sampling, handing, and analyzing plant tissue samples. In: Soil Testing and Plant Analysis, 3rd edition, Madison: SSSA, pp. 389–427.

Molina, M., Ortega, R. and Escudey, M. 2012. Evaluation of the AB-DTPA multiextractant in Chilean soils of different origin with special regard to available phosphorus. Arch. Agron. Soil Sci. 58:789-803.

Rowell, D.L.1994. Soil Science: Methods and Applications. Prentice Hall, Harlow, UK.

Zang, B.B., Liu, W.Z., Chang, S.X., and Anyia, A.O. 2013. Phosphorus fertilization and fungal inoculations affected the physiology, phosphorus uptake and growth of spring wheat under rainfed conditions on the Canadian prairies. J. Agron. Crop Sci. 119:85-93.

ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΩΝ ΒΙΟΛΟΓΙΚΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΕΝΟΣ ΙΛΥΟΠΗΛΩΔΟΥΣ ΕΔΑΦΟΥΣ ΜΕΤΑ ΑΠΟ ΚΑΤΑΚΛΥΣΗ ΚΑΙ ΟΡΥΖΟΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΣΤΗ ΣΤΑΘΕΡΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΔΟΜΗΣ

Χ. Καλλιτσάρη [1], Σ.Κ. Κωστοπούλου[1] και Β. Ασχονίτης [2]
[1]Εργαστήριο Εδαφολογίας, Σχολή Γεωπονίας, Α.Π.Θ. 54114 Θεσσαλονίκη
[2]University of Ferrara, Dep. of Life Sciences and Biotechnology, 44121, Ferrara, Italy

Μελετήθηκε σε δύο βάθη (0-15 και 15-30cm), η μεταβολή ορισμένων βιολογικών ιδιοτήτων και η επίδρασή της στη σταθερότητα της δομής ενός ιλυοπηλώδους εδάφους μετά από: α) κατάκλυση, δίχως σπορά ρυζιού και β) ορυζοκαλλιέργεια με κατάκλυση.. Μετά από δύο συνεχόμενα έτη, η ορυζοκαλλιέργεια και η κατάκλυση μείωσαν τη μικροβιακή βιομάζα, τη μικροβιακή δραστηριότητα και την οργανική ουσία του εδάφους. Όμως, η ύπαρξη του φυτού του ρυζιού γενικά συνέβαλε στον περιορισμό της μείωσης της τιμής τους. Η επίδραση της τιμής των βιολογικών ιδιοτήτων που μελετήθηκαν στη σταθερότητα της δομής αυτού του ιλυοπηλώδους εδάφους, εξαρτάται από το μέγεθος των δομικών μονάδων. Και στα δύο βάθη, η μείωση και των τριών βιολογικών ιδιοτήτων του εδάφους οδήγησε σε μείωση της σταθερότητας των μακρο-συσσωματωμάτων. Αντίθετα, σε επίπεδο μικρο-συσσωματωμάτων, ο βαθμός συσσωμάτωσης των τεμαχιδίων ιλύος και αργίλου (<50μm) επηρεάσθηκε μόνο από τη μεταβολή του ποσοστού της οργανικής ουσίας του εδάφους.

Λέξεις κλειδιά: κατάκλυση, οργανική ουσία, μικροβιακή βιομάζα, συσσωμάτωση, δομή

BIOLOGICAL PROPERTIES CHANGE OF A SiL SOIL UNDER FLOODING AND RICE CULTIVATION AND ITS EFFECT ON STRUCTURAL STABILITY

Ch. Kallitsari [1], S.K. Kostopoulou[1] and V. Aschonitis [2]
[1]Laboratory of Soil Science, Faculty of Agriculture, Aristotle University of Thessaloniki, 541 24 Thessaloniki, Greece
[2]University of Ferrara, Dep. of Life Sciences and Biotechnology, 44121, Ferrara, Italy
xkallit@yahoo.gr, skostop@agro.auth.gr, vaschoni@agro.auth.gr

The change of some biological properties and its effect on the structural stability of a SiL soil was studied in two depths after: a) flooding and b) rice cultivation under flooding condition. After two years in succession, flooding as well as rice cultivation decreased microbial biomass, microbial activity and soil organic matter. Rice plant growth restricted the decline of the above mentioned biological properties. It was found that the effect of the studied biological properties on the structural stability of this SiL soil, was depended on the size of the structural units. At both depths, the stability of the macro-aggregates followed the decrease of all three biological properties of the soil. In contrast, in the micro-aggregate scale, the degree of aggregation of the <50μm particles was influenced only by the change of the soil organic matter.

Key-words: flooding, organic matter, microbial biomass, aggregation, structure

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι αγροί που υποβάλλονται σε εποχιακή κατάκλυση ακολουθούμενη από ξηρά περίοδο υφίστανται δραστικές δομικές αλλαγές λόγω των διαδοχικών κύκλων διαβροχής/ξήρανσης (Igwe and Stahr, 2004). Η ορυζοκαλλιέργεια υπό κατάκλυση θεωρείται συχνά υπεύθυνη για την υποβάθμιση της ποιότητας του εδάφους καθώς η ετήσια αλλαγή των εδαφικών συνθηκών από αναερόβιες σε αερόβιες και ξανά σε αναερόβιες έχει σημαντική επίδραση στις βιολογικές ιδιότητες του εδάφους (Bandyopadhyay et al., 2011). Η μικροβιακή δραστηριότητα έχει ουσιαστικό ρόλο στις αλλαγές που συμβαίνουν στη δομή του εδάφους (Sarig et al., 1993), καθώς οι μικροοργανισμοί και η οργανική ουσία του εδάφους είναι στενά συνδεδεμένα με τη συσσωμάτωση των εδαφικών τεμαχιδίων και τη σταθερότητα των συσσωματωμάτων (Stott et al., 1999). Σε ένα αργιλώδες έδαφος παρατηρήθηκε ότι η ορυζοκαλλιέργεια μείωσε την οργανική ουσία και τη σταθερότητα των μακρο-συσσωματωμάτων στη διαβροχή. Η τιμή της σταθερότητας στη διαβροχή ήταν μεγαλύτερη στο επιφανειακό έδαφος σε σχέση με τις υποκείμενες στρώσεις (Bandyopadhyay et al., 2011). Αντίθετα, σε ένα πηλώδες έδαφος μετά από κατάκλυση και ξήρανση βρέθηκε ότι η επιφανειακή κρούστα δεν ήταν αποτέλεσμα διασποράς του λεπτόκοκκου εδαφικού υλικού αλλά αποτελείτο από μικρο-συσσωματώματα πυκνά διατεταγμένα και ιδιαιτέρως σταθερά στη διαβροχή (Janeau et al., 2003).

Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν η μελέτη της μεταβολής ορισμένων βιολογικών ιδιοτήτων και η επίδρασή της στη σταθερότητα της δομής ενός ιλυοπηλώδους εδάφους μετά από α) κατάκλυση, δίχως σπορά ρυζιού και β) ορυζοκαλλιέργεια υπό κατάκλυση. Οι διαφοροποιήσεις των εδαφικών ιδιοτήτων διερευνήθηκαν στο επιφανειακό έδαφος (0-15cm) και σε βάθος 15-30cm.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1. Έδαφος και μεταχειρίσεις

Το 2008, σε πειραματικά λυσίμετρα που βρίσκονται στο Αγρόκτημα του Α.Π.Θ. εγκαταστάθηκε ορυζοκαλλιέργεια υπό κατάκλυση. Το έδαφος των λυσιμέτρων ήταν ιλυοπηλώδες (SiL),

και τα κυριοτέρα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του ήταν: pH= 7.9, $CaCO_3$=5.7%, EC_{25oC}=0.62mS/cm, SAR=1.88, IAK=22.9meq/100g, ESP=3.92%.

Το έδαφος ήταν ακαλλιέργητο για περισσότερα από 10 έτη. Τον καθαρισμό του επιφανειακού εδάφους από ανεπιθύμητη βλάστηση ακολούθησε τσάπισμα και στη συνέχεια θρυμματισμός και ισοπέδωση με τσουγκράνα με σκοπό την επίτευξη του ίδιου αποτελέσματος που επιτυγχάνεται με την άροση, το δισκοσβάρνισμα και τον ισοπεδωτή Laser στους ορυζώνες κατά την προετοιμασία της σπορoκλίνης. Τον Μάϊο γινόταν εισροή νερού στα λυσίμετρα για την επίτευξη κορεσμού του εδάφους και συνθηκών κατάκλυσης και ακολουθούσε σπορά της ποικιλίας Thaibonnet (Oryza sativa L. ssp. indica). Στο τέλος της καλλιεργητικής περιόδου (Οκτώβριος) γινόταν αποστράγγιση του εδάφους και ακολουθούσε η συγκομιδή. Όλη η υπέργεια φυτομάζα αφαιρείτο. Τον Νοέμβριο του 2009, μετά από δύο συνεχόμενα έτη ορυζοκαλλιέργειας (Ο), ελήφθησαν εδαφικά δείγματα από δύο βάθη (0-15 και 15-30cm). Δείγματα ελήφθησαν και από ακαλλιέργητα λυσίμετρα εκ των οποίων το ένα δεν είχε υποστεί κατάκλυση και χρησιμοποιήθηκε ως μάρτυρας (Μ) ενώ το άλλο είχε υποστεί κατάκλυση (Κ).

2.2. Προσδιορισμός ιδιοτήτων

Τα εδαφικά δείγματα αεροξηράνθηκαν, λειοτριβήθηκαν και στο <2mm έδαφος προσδιορίσθηκαν με δύο επαναλήψεις οι εξής βιολογικές ιδιότητες: η οργανική ουσία (Ο.Ου.) (Nelson & Sommers, 1982), το Ν της μικροβιακής βιομάζας (Amato & Ladd, 1988) και η μικροβιακή δραστηριότητα όπως αυτή εκφράζεται από το συνολικό CO_2 που εκλύεται επί 15 ημέρες κατά την εδαφική αναπνοή (Rowell, 1994).

Η σταθερότητα της δομής προσδιορίσθηκε με δύο επαναλήψεις, σε μικρο-συσσωματώματα μεγέθους <50μm και σε μακρο-συσσωματώματα μεγέθους 1-2mm. Ο βαθμός συσσωμάτωσης των <50μm εδαφικών τεμαχιδίων (Σ(ι+α)) εκτιμήθηκε από τη διαφορά του αθροίσματος (ιλύς+άργιλος) σε δείγματα στα οποία προσδιορίσθηκε η κατανομή μεγέθους τεμαχιδίων με τη διεθνή μέθοδο του σιφωνιού (Day 1965), με και χωρίς τη χρήση διαμεριστικού (Piccolo and Mbagwu, 1989). Η σταθερότητα των μακρο-συσσωματωμάτων στη διαβροχή (Σ.Σ.) προσδιορίστηκε με υγρό κοσκίνισμα σε συσσωματώματα μεγέθους 1-2mm.. Χρησιμοποιήθηκε ένα κόσκινο με διάμετρο οπών 250μm (Nimmo and Perkins, 2002).

2.3. Στατιστική επεργασία

Η στατιστική επεξεργασία των δεδομένων έγινε με ανάλυση παραλλακτικότητας κατά ένα παράγοντα (ANOVA) σε επίπεδο σημαντικότητας α=0,05.

3.ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Στον Πίνακα 1 φαίνονται οι ιδιότητες που προσδιορίσθηκαν στις διάφορες μεταχειρίσεις στα δύο βάθη. Σε κάθε μεταχείριση, παρατηρήθηκε μείωση της τιμής των υπό μελέτη ιδιοτήτων με την αύξηση του βάθους η οποία στις περισσότερες περιπτώσεις ήταν σημαντική. Παρόμοια αποτελέσματα, για ανάλογες καλλιεργητικές πρακτικές, αναφέρονται και από άλλους ερευνητές (Bhattacharyya et al., 2008; Bandyopadhyay et al., 2011).

Στο πρώτο βάθος, η κατάκλυση προκάλεσε στατιστικά σημαντική μείωση της Ο.Ου. σε σχέση με τον μάρτυρα. Υπό ορυζοκαλλιέργεια η μείωση ήταν μικρότερη. Μείωση της οργανικής ουσίας μετά από μονοκαλλιέργεια ρυζιού αναφέρουν επίσης οι Pardo et al. (2008) και Bandyopadhyay et al., (2011). Αντίθετα, στο δεύτερο βάθος, υπό συνθήκες κατάκλυσης υπήρξε μία τάση αύξησης της Ο.Ου. σε σχέση με τον μάρτυρα η οποία ήταν σημαντική στο καλλιεργούμενο έδαφος. Σύμφωνα με τους Kogel-Knabner et al. (2010) αυτό οφείλεται αφ' ενός στη μετακίνηση υδατοδιαλυτής Ο.Ου. από την επιφάνεια προς βαθύτερα στρώματα και αφ' ετέρου στον εφοδιασμό της ριζόσφαιρας από το φυτό του ρυζιού με C ο οποίος προέρχεται από φωτοσύνθεση.

Και στα δύο βάθη, βρέθηκε σημαντική μείωση της μικροβιακής βιομάζας των δύο μεταχειρίσεων υπό κατάκλυση σε σχέση με τον μάρτυρα ενώ δεν υπήρξε σημαντική διαφορά μεταξύ κατάκλυσης και ορυζοκαλλιέργειας. Οι Jiang et al. (2011) απέδωσαν τη μείωση της μικροβιακής βιομάζας που παρατήρησαν μετά από καλλιέργεια ή κατάκλυση, στην υποβάθμιση που προκαλούν οι διάφορες καλλιεργητικές πρακτικές στη δομή του εδάφους και κυρίως στη μεταβολή της κατανομής μεγέθους των συσσωματωμάτων. Σύμφωνα με τους ανωτέρω, το μέγεθος των συσσωματωμάτων είναι καθοριστικό για την τιμή της μικροβιακής βιομάζας καθώς οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις της παρατηρούνται στα μακρο-συσσωματώματα.

Πίνακας 1. Βιολογικές ιδιότητες, σταθερότητα μακρο-συσσωματωμάτων στη διαβροχή (ΣΣ) και βαθμός συσσωμάτωσης των <50μm τεμαχδίων (Σ(ι+α)) του εδάφους, σε δύο βάθη, στις διάφορες μεταχειρίσεις (μάρτυρας-Μ, κατάκλυση-Κ, ορυζοκαλλιέργεια-Ο)

	Ο. Ου.	Βιομάζα	Εδ. Αναπνοή	ΣΣ	Σ (ι+α)
	%	N (μg/g εδ.)	CO_2 (mg/g εδ.)	%	%
M (0-15)	3,08 e	131,79 d	2,32 e	82,98 f	61,74 bc
M (15-30)	1,22 a	37,47 b	1,33 bc	67,47 b	45,15 a
K (0-15)	2,02 c	46,01 bc	1,42 c	73,65 d	66,56 bcd
K (15-30)	1,42 ab	18,35 a	1,01 a	64,98 a	53,09 ab
O (0-15)	2,62 d	58,10 c	1,94 d	79,08 e	75,04 d
O (15-30)	1,66 b	20,19 a	1,26 b	70,00 c	61,17 bc

Τιμές με διαφορετικά γράμματα διαφέρουν στατιστικά σημαντικά με το κριτήριο LSD για p<0,05

Η εδαφική αναπνοή βρέθηκε ότι μεταβάλλεται θετικά και γραμμικά με την Ο.Ου. του εδάφους (y=0.633x+0.278, p<0.01). Η σημαντική μείωση της εδαφικής αναπνοής των δύο μεταχειρίσεων υπό κατάκλυση σε σχέση με τον μάρτυρα, η οποία παρατηρήθηκε στο επιφανειακό έδαφος (Πιν. 1) πιθανώς οφείλεται στην απώλεια υδατοδιαλυτών οργανικών ενώσεων με μικρό βαθμό σύνδεσης με την ανόργανη στερεά φάση του εδάφους (Pardo et al., 2008). Σε βάθος 15-30cm η μείωση ήταν σημαντική υπό κατάκλυση μόνον. Και στα δύο βάθη, η εδαφική αναπνοή ήταν αυξημένη παρουσία φυτού σε σχέση με την κατάκλυση μόνον.

Και στα δύο βάθη, η κατάκλυση μείωσε σημαντικά τη ΣΣ σε σχέση με τον μάρτυρα. Υπό ορυζοκαλλιέργεια η μείωση ήταν μικρότερη. Έχει βρεθεί ότι οι διαδοχικοί κύκλοι διαβροχής και ξήρανσης, οι αναγωγικές συνθήκες που επικρατούν κατά την κατάκλυση και επηρεάζουν τις χημικές ιδιότητες του εδάφους και η απώλεια της υδατοδιαλυτής Ο.Ου. προς βαθύτερα στρώματα επηρεάζουν αρνητικά τη ΣΣ (Caron et al., 1992; De-Campos et al., 2009).

Ο βαθμός συσσωμάτωσης των <50μ τεμαχιδίων παρουσίασε αύξηση και στα δύο βάθη των μεταχειρίσεων υπό κατάκλυση σε σχέση με τον μάρτυρα, η οποία ήταν σημαντική υπό ορυζοκαλλιέργεια. Οι Janeau et al. (2003) αναφέρουν ότι η κρούστα που δημιουργήθηκε μετά την κατάκλυση στην επιφάνεια ενός πηλώδους εδάφους, δεν αποτελείτο από ασύνδετο λεπτόκοκκο υλικό αλλά από ιδιαιτέρως σταθερά μικρο-συσσωματώματα.

4.ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Από τα αποτελέσματα φαίνεται ότι η κατάκλυση και η ορυζοκαλλιέργεια επηρέασαν αρνητικά τις βιολογικές ιδιότητες του εδάφους. Η σταθερότητα των μακρο-συσσωματωμάτων στη διαβροχή και ο βαθμός συσσωμάτωσης των <50μ τεμαχιδίων συσχετίσθηκαν με τις βιολογικές ιδιότητες του εδάφους. Όπου βρέθηκε σχέση, αυτή είναι θετική και περιγράφεται καλύτερα από λογαριθμική καμπύλη, δηλ. αυξανόμενης της τιμής των βιολογικών ιδιοτήτων αυξάνεται με ελαττούμενο ρυθμό και η σταθερότητα της δομής.

Πίνακας 2. Σημαντικότητα συντελεστών συσχέτισης της σταθερότητας μακρο-συσσωματωμάτων (ΣΣ) και του βαθμού συσσωμάτωσης <50μm τεμαχιδίων (Σ(ι+α)) με τις βιολογικές ιδιότητες του εδάφους.

	Ο.Ου.	**βιομάζα**	**αναπνοή**
ΣΣ	p<0,001	p< 0,01	p<0,001
Σ(ι+α)	p<0,05	ns	ns

Από τη σημαντικότητα των συντελεστών συσχέτισης (Πιν. 2) φαίνεται ότι η ΣΣ επηρεάζεται ιδιαίτερα από το ποσοστό της Ο.Ου. και τη μικροβιακή δραστηριότητα ενώ η μικροβιακή βιομάζα είχε μικρότερη αρνητική επίδραση στη σταθερότητα των μακρο-συσσωματωμάτων. Αντίθετα, ο βαθμός συσσωμάτωσης των <50μm τεμαχιδίων επηρεάσθηκε, με μικρό βαθμό σημαντικότητας, μόνο από το ποσοστό της Ο.Ου. Φαίνεται λοιπόν ότι οι βιολογικές ιδιότητες του εδάφους επηρεάζουν περισσότερο τη σταθερότητα της δομής σε επίπεδο μακρο-συσσωματωμάτων. Οι Igwe και Stahr (2004) υποστηρίζουν ότι ο ρόλος του οργανικού C είναι κυρίαρχος όσον αφορά τη σταθερότητα των μακρο-συσσωματωμάτων και υποβαθμισμένος όσον αφορά τη δημιουργία μικρο-συσσωματωμάτων. Επίσης, σύμφωνα με τους Jiang et al. (2011), η μέγιστη συγκέντρωση της μικροβιακής βιομάζας προσδιορίσθηκε σε συσσωματώματα μεγέθους 2-1mm και η μικρότερη στο <50μm κλάσμα του εδάφους, ανεξαρτήτως καλλιεργητικής πρακτικής.

Η αύξηση του βαθμού συσσωμάτωσης των <50μm τεμαχιδίων που παρατηρήθηκε στο επιφανειακό έδαφος των μεταχειρίσεων υπό κατάκλυση οφείλεται μάλλον στη καθίζηση και τον παράλληλο προσανατολισμό του λεπτόκοκκου υλικού μετά το τέλος της κατάκλυσης (Janeau et al., 2003) και τη ξήρανση που φέρει σε στενή επαφή τα τεμαχίδια και ισχυροποιεί τους δεσμούς σύνδεσης. Σύμφωνα με τους Khan et al. (2008), κατά την ξήρανση όλες οι συνιστώσες των δυνάμεων που αναπτύσσονται στο υδατικό υμένιο που περιβάλει τα εδαφικά τεμαχίδια γίνονται αρνητικές, δηλ. μετατρέπονται σε ελκτικές δυνάμεις και ευνοείται η δημιουργία δομικών μονάδων σταθερών στη διαβροχή. Στο δεύτερο βάθος, η αύξηση του βαθμού συσσωμάτωσης των <50μm τεμαχιδίων πρέπει να οφείλεται στην αύξηση της οργανικής ουσίας των μεταχειρίσεων υπό κατάκλυση σε σχέση με τον μάρτυρα (Πιν. 1). Σύμφωνα με τους Khan et al. (2008) κατά την ξήρανση, οργανικές ενώσεις βιογενούς προέλευσης, προσροφημένες στην επιφάνεια των τεμαχιδίων της αργίλου έχουν κυρίαρχο συνδετικό ρόλο.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η ορυζοκαλλιέργεια και η κατάκλυση μείωσαν τη μικροβιακή βιομάζα, τη μικροβιακή δραστηριότητα και την οργανική ουσία του εδάφους. Επίσης, οι παραπάνω ιδιότητες μειώθηκαν με την αύξηση του βάθους σε όλες τις μεταχειρίσεις. Όμως, η ύπαρξη του φυτού του ρυζιού γενικά συνέβαλε στον περιορισμό της μείωσης της τιμής τους.

Η επίδραση των βιολογικών ιδιοτήτων που μελετήθηκαν στη σταθερότητα της δομής, εξαρτάται από το μέγεθος των δομικών μονάδων. Και στα δύο βάθη, η μείωση της τιμής όλων των βιολογικών ιδιοτήτων του εδάφους οδήγησε σε μείωση της σταθερότητας των μακρο-συσσωματωμάτων. Αντίθετα, η συσσωμάτωση των <50μm τεμαχιδίων επηρεάσθηκε μόνον από τη μεταβολή της οργανικής

ουσίας. Η αύξηση της σταθερότητας των μικροσυσσωματωμάτων αυτού του μεγέθους, που παρατηρήθηκε στο επιφανειακό έδαφος, πιθανώς οφείλεται σε ελκτικές δυνάμεις που αναπτύσσονται μεταξύ των τεμαχιδίων κατά τη ξήρανση του λεπτόκοκκου εδαφικού υλικού.

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Amato, M. and J.N. Ladd, 1988. Assay for microbial biomass based on ninhydrin-reactive nitrogen in extracts of fumigated soils. Soil Biol. & Bioch. 20, 107-114.

Bandyopadhyay, P.K., Subita Saha, Mallick, 2011. Comparison of Soil Physical Properties between a Permanent Fallow and a Long-Term Rice–Wheat Cropping with Inorganic and Organic Inputs in the Humid Subtropics of Eastern India. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 42:435–449.

Bhattacharyya R., Kundu S., Pandey S.C., Singh K.P., Gupta H.S., 2008. Tillage and irrigation effects on crop yields and soil properties under the rice–wheat system in the Indian Himalayas. Agric. Water Manag.95: 993–1002.

Caron J., Kay B.D. and Stone J.A., 1992. Improvement of structural stability of a clay loam with drying. Soil Sci. Soc. of Am. J. 56: 1583-1590.

Day, P., 1965. Particle fractionation and particle size analysis. *In:* Methods of Soil Analysis Part 1 (C.A. Black et al., ed,) Am. Soc. Agr., Madison, Wis. pp. 545-567.

De-Campos A.B., Mamedov A.I. and Huang C., 2009. Short term reducing conditions decrease soil aggregation. SSSJ 73: 550-559.

Janeau J.L., Bricquet J.P., Planchon O. and Valentin C., 2003. Soil crusting and infiltration on steep slopes in northern Thailand. Eur. J. of Soil Sci., 54: 543-553.

Jiang X., Wright A.L., Wang X. and Liang F., 2011. Tillage-induced changes in fungal and bacterial biomass associated with soil aggregates: a long-term field study in a subtropical rice soil in China. Applied Soil Ecology, 48: 168-173.

Igwe C.A. and Stahr K., 2004. Water-stable aggregates of flooded Inceptisols from south-eastern Nigeria in relation to mineralogy and chemical properties. Aust. J. of Soil Res. 42: 171-179.

Khan Y.K., Pozdnyakov A.I. and Son B.K., 2008. Fabric of soil aggregates and characterization of their structural and functional stability. Euras. Soil Sci., 41: 1417-1423.

Kogel-Knabner I., Amelung W., Cao Z., Fielder S., Frenzel P., Jahn R., Kalbitz K., Kolbl A. and Schloter M., 2010. Biogeochemistry of paddy soils. Geoderma 157: 1-14.

Nelson, D.W. and L.E. Sommers., 1982. Total Carbon, Organic Carbon and Organic Matter. *In:* Methods of Soil Analysis Part 2 (Ed. A.L. Page). Soil Sci. Soc. of Am. pp. 539-579.

Nimmo, J.R., K.S. Perkins. 2002. Aggregate stability and size distribution. SSSA. Methods of Soil Analysis, Part 4. pp.317-328.

Pardo M. T., Almendros G. , Kileo E., Maliondo S. & Msanya B., 2008. Cultivation-Induced Effects on the Soil Organomineral Matrix and Their Bearing on Crust Development on Two Soil Formations from Tanzania. Com. in Soil Sci. and Plant Analysis, 39: 65–81.

Piccolo, A. and J. S. C. Mbagwu. 1989. Effects of Humic Substances and Surfactants on the Stability of Soil Aggregates. Soil Sci. 147:47-54.

Rowell D.L., 1994. Air in soils-Supply and demand. *In*: Soil Science. Methods and Applications. Chap. 6. Addison Wesley Longman Lim., Engl. pp. 109-130.

Sarig, S., E.B. Roberson, and M.K. Firestone 1993. Microbial Activity-Soil Structure: Response to Saline Water Irrigation. Soil Biology and Biochemistry. 25:663-697.

Stott, D.E., A.C. Kennedy., and C.A Cambardella 1999. Impact of Soil Organisms and Organic Matter on Soil Structure. In: Soil Quality and Soil Erosion (Ed. R. Cal): pp57-74. Soil and Water Cons. Soc. Ankeny, Iowa.

ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΤΟΥ ΖΕΟΛΙΘΟΥ ΚΑΙ ΤΟΥ ΓΚΑΙΤΙΤΗ ΣΤΗΝ ΠΡΟΣΛΗΨΗ ΤΟΥ ΕΞΑΣΘΕΝΟΥΣ ΧΡΩΜΙΟΥ ΣΤΗΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΤΟΥ ΣΠΑΝΑΚΙΟΥ

Μόλλα Αικ.[1], Δημήρκου Α.[1], Αντωνιάδης Β.[1], Λιάκου Κ.[1], Μαρκοπούλου Αικ.[1], Ντόβας Αθ.[1] και Γεωργίου Κ.[1]
[1]Εργαστήριο Εδαφολογίας, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Φυτόκου, Ν. Ιωνία, 38446, Βόλος
email: adimirkou@uth.gr, katrinmol@yahoo.gr

Στην εργασία αυτή μελετήθηκε η προσρόφηση του εξασθενούς χρωμίου από φυσικά υλικά καθώς και η επίδραση αυτών στην καλλιέργεια του σπανακιού. Τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν στο θερμοκήπιο της Σχολής Γεωπονικών Επιστημών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας τις περιόδους Μάιο - Ιούνιο 2010 και Απρίλιο – Ιούλιο 2011. Χρησιμοποιήθηκε έδαφος το οποίο συλλέχθηκε από το Αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας που βρίσκεται στο Βελεστίνο. Τα βελτιωτικά που χρησιμοποιήθηκαν ήταν ο ζεόλιθος (Z), ο γκαιτίτης (G) και το σύστημα ζεόλιθου – γκαιτίτη κίτρινου (Z-GY). Προστέθηκε δόση εξασθενούς χρωμίου 1 και 50 mg Cr(VI) L^{-1} υπό μορφή CrO_3 στην πρώτη περίοδο και δεύτερη περίοδο, αντίστοιχα. Και στις δύο περιόδους είχαμε 5 μεταχειρίσεις, από τις οποίες στις 3 προστέθηκε βελτιωτικό. Κάθε μεταχείριση είχε 3 επαναλήψεις και στο θερμοκήπιο τοποθετήθηκαν 15 φυτοδοχεία σε κάθε περίοδο. Η θερμοκρασία κατά τη διάρκεια και των δύο κύκλων πειραμάτων κυμαινόταν μεταξύ 25 – 35°C. Τα αποτελέσματα της πρώτης περιόδου στην καλλιέργεια του σπανακιού έδειξαν μηδενικές τιμές για το ολικό χρώμιο στα φυτά. Ενώ σύμφωνα με τα αποτελέσματα της δεύτερης περιόδου τα βελτιωτικά δεν επέδρασαν θετικά στα αγρονομικά χαρακτηριστικά (ξηρό βάρος και ύψος) των φυτών σε όλες τις μεταχειρίσεις, εκτός από τον ζεόλιθο που αύξησε σημαντικά το ύψος των φυτών. Επίσης η προσθήκη των βελτιωτικών δεν κατάφερε να μειώσει στατιστικά σημαντικά το ολικό χρώμιο και το εξασθενές χρώμιο στα φυτά καθώς και το εκχυλίσιμο τρισθενές χρώμιο στο έδαφος.

Λέξεις κλειδιά: προσρόφηση, εξασθενές χρώμιο, γκαιτίτης, ζεόλιθος, σπανάκι

STUDY OF ZEOLITE AND GOETHITE BEHAVIOUR IN THE HEXAVALENT CHROMIUM ADSORPTION OF THE SPINACH CULTIVATION

Molla Aik.[1], Dimirkou A.[1], Antoniadis V.[1], Liakou K.[1], Markopoulou Aik.[1], Ntovas A.[1] and Georgiou K.[1]
[1]Laboratory of Soli Science, Faculty of Agricultural Sciences, Department of Agriculture Crop Production and Rural Environment, University of Thessaly, Fitokou, N. Ionia Magnesia, 38446 Volos
email: adimirkou@uth.gr, katrinmol@yahoo.gr

In this study examined the adsorption of hexavalent chromium from natural materials as well as the influence of them in spinach cultivation. The experiments were held in the greenhouse of the Department of Agriculture Crop Production and Rural Environment of University of Thessaly the periods of May – June 2010 and April – Jule 2011. The soil that was used was collected from the farm of University of Thessaly in Velestino. The improvements materials that were used were zeolite(Z), goethite(G) and the sustem zeolite – goethite yellow(Z-GY). Two doses of hexavalent chromium, 1 and 50 mg L^{-1} in form of CrO3 were used, in first and second period, respectively. In both periods were realized five treatments, three of which contained improvements. Each treatment consisted of three repetitions and in greenhouse placed 15 pots in each period. The temperature during both experimental cycles was ranging between 25 – 35°C. Considering the results of first period in the spinach cultivation, the total chromium in plants was zero. Instead, considering the results of second period, the improvements materials did not affected positively the agronomic characteristics of the plants (dry-weight and height) during all the treatments, except from zeolite, which contributed to the significant increase in plant height. Also, the improvements materials did not managed to reduce statistically significant the total and the hexavalent chromium in plants as well as the extractable trivalent chromium in soil.

Key words: adsorption, hexavalent chromium, goethite, zeolite, spinach

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ρύπανση των νερών και των εδαφών και κατά επέκταση των καλλιεργειών από βαρέα μέταλλα τα τελευταία χρόνια έχει οδηγήσει πολλούς επιστήμονες στην έρευνα τρόπων αντιμετώπισης του προβλήματος (Papafillipaki et al., 2007; Golten 2011; Zoffoli et al., 2012). Ένα από τα βαρέα μέταλλα που έχει προκαλέσει το ενδιαφέρον των ερευνητών είναι και το χρώμιο, το οποίο βρίσκεται κυρίως με δυο σταθερές μορφές οξείδωσης, την τρισθενής και την εξασθενής. Το εξασθενές χρώμιο θεωρείται ότι είναι πολύ τοξικό, βιοδιαθέσιμο και καρκινογόνο (Donatella et al. 2012). Ειδικά τα λαχανοειδή με εδώδιμα μέρη είναι ευαίσθητα στο εξασθενές χρώμιο, και ο κίνδυνος μεταφορά των τοξικών μετάλλων στην ανθρώπινη τροφική αλυσίδα αυξάνει σημαντικά στην περίπτωση των φυλλώδων λαχανικών, τα οποία καταναλώνονται κυρίως ως

σαλάτες (Molla et al., 2012). Οι πιο κοινές μέθοδοι απομάκρυνσης του εξασθενούς χρωμίου από υδατικά διαλύματα είναι η αναγωγή του εξασθενούς χρωμίου σε τρισθενές, η ιοανταλλαγή και η προσρόφηση σε ενεργό άνθρακα. Τα τελευταία όμως χρόνια η χρήση βελτιωτικών ως μέσο απορρύπανσης αποτελεί έναν από τους πιο αποτελεσματικούς τρόπους δέσμευσης του (Kesraouiouki, 1994; Kallo, 2001).

Οι ζεόλιθοι είναι τεκτοπυριτικά ορυκτά, είναι αρνητικά φορτισμένοι με αποτέλεσμα να έλκουν κατιόντα τα οποία και δεσμεύουν στο πλέγμα τους (Marcus and Cornier, 1999). Επίσης, θα πρέπει να αναφερθεί ότι στο πλέγμα των ζεόλιθων υπάρχουν κενοί χώροι (κοιλότητες ή κανάλια) οι οποίοι έχουν μέγεθος από 0,3 έως 0,8 mm. Οι μεγάλοι κενοί χώροι στη δομή των ζεόλιθων επιτρέπουν την είσοδο (αλλά και την εύκολη έξοδο και ανταλλαγή) κατιόντων μεγάλων διαστάσεων. Οι φυσικοί ζεόλιθοι μπορούν να δεσμεύουν με ιοανταλλαγή τα ιόντα των βαρέων μετάλλων όπως π.χ. του μόλυβδου, του χρωμίου, του χαλκού, του καδμίου, του μαγγανίου (Διονυσίου, 2010).

Ο γκαιτίτης είναι το πιο κοινό οξείδιο του σιδήρου στα εδάφη (Schwertmann and Cornell, 2000). Η προσρόφηση επιβλαβών για την υγεία του ανθρώπου κατιόντων από τον γκαιτίτη είναι σημαντική. Ο γκαιτίτης έχει αναγνωριστεί ότι μπορεί και ελέγχει την διαθεσιμότητα των τοξικών ανιόντων και κατιόντων στα φυτά (Abdus-Salam and Adekola, 2005). Το σημαντικότερο χαρακτηριστικό του γκαιτίτη είναι η επαμφοτερίζουσα συμπεριφορά όσο αφορά την προσρόφηση ιόντων. Στο έδαφος το PZC του γκαιτίτη είναι περίπου 9 οπότε υπό φυσιολογικές συνθήκες ο γκαιτίτης προσροφά ανιόντα και αποτελεί τον κυριότερο παρ'αγοντα του εδάφους που έχει αυτή την ικανότητα (Kosmulski et al., 2003).

Η προστασία των εδαφικών πόρων και κατ' επέκταση του περιβάλλοντος και της ανθρώπινης υγείας αποτελούν μια από τις κύριες προτεραιότητες του σύγχρονου ανθρώπου, για τον λόγο αυτό κρίνεται επιτακτική η ανάγκη χρήσης μεθόδων που συμβάλλουν προς την κατεύθυνση αυτή. Για τον σκοπό αυτό στην παρούσα έρευνα μελετήθηκε η χρήση υλικών φιλικών προς το περιβάλλον στην αποκατάσταση εδάφους επιβαρυμένο με εξασθενές χρώμιο και καθώς και η επίδραση του εξασθενούς χρωμίου και των βελτιωτικών στην καλλιέργεια του σπανακιού.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1 Έδαφος

Το έδαφος που χρησιμοποιήθηκε για την πραγματοποίηση όλων των πειραμάτων στο θερμοκήπιο συλλέχθηκε από το Αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας του Βελεστίνο (αμμοαργιλοπηλώδες, pH=8.82 και οργανική ουσία 2.3).

2.2 Υλικά Προσρόφησης (Βελτιωτικά)

Ο ζεόλιθος (κλινοπτινόλιθος) (Z) που χρησιμοποιήθηκε ήταν της εταιρείας S&B Company (Ελλάδα). Ο γκαιτίτης (FeOOH) (G) παρασκευάσθηκε στο εργαστήριο Εδαφολογίας του Π.Θ. σύμφωνα με την μέθοδο των Schwertmann και Cornell (2000) ενώ το σύστημα ζεόλιθου - γκαιτίτη (Z – G) με την μέθοδο των Dimirkou et al. (2009).

2.3 Πειραματικό μέρος

Τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν τις περιόδους Μάιο - Ιούνιο 2010 και Απρίλιο – Ιούλιο 2011 σε θερμοκήπιο της Σχολής Γεωπονικών Επιστημών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας. Προστέθηκε δόση εξασθενούς χρωμίου 1 και 50 mg Cr(VI) L^{-1} υπό μορφή CrO_3 στην πρώτη περίοδο και δεύτερη περίοδο, αντίστοιχα. Και στις δύο περιόδους είχαμε 5 μεταχειρίσεις, από τις οποίες στις 3 προστέθηκε βελτιωτικό. Κάθε μεταχείριση είχε 3 επαναλήψεις και στο θερμοκήπιο τοποθετήθηκαν 15 φυτοδοχεία σε κάθε περίοδο. Η θερμοκρασία κατά τη διάρκεια και των δύο κύκλων πειραμάτων κυμαινόταν μεταξύ 25 – 35°C. Τα φυτά αρδεύονταν κανονικά ώστε να διατηρείται η υδατοικανότητα στο 65%. Στο κάτω μέρος των φυτοδοχείων τοποθετήθηκαν ειδικοί δίσκοι για την διατήρηση των απαραίτητων συνθηκών υγρασίας. Στην πρώτη περίοδο η εφαρμογή του εξασθενούς χρωμίου έγινε στις 3/5/2010, 10 mL σε κάθε φυτοδοχείο, η σπορά στις 6/5/2010 και η κοπή πραγματοποιήθηκε στις 30/6/10. Στην δεύτερη περίοδο η σπορά στο θερμοκήπιο πραγματοποιήθηκε στις 11/4/2011 και η εφαρμογή του χρωμίου έγινε σε 2 δόσεις. Η πρώτη στις 23/4/2011 (50 mL / φυτοδοχείο) και η δεύτερη στις 28/4/2011 (50 mL / φυτοδοχείο). Η κοπή πραγματοποιήθηκε στις 7/6/11. Μετρήθηκαν τα μορφολογικά χαρακτηριστικά των φυτών (ύψος υπέργειου μέρους και ξηρό βάρος φυτού). Επίσης στο έδαφος προσδιορίστηκαν το ολικό χρώμιο κατόπιν πέψης των δειγμάτων σε βασιλικό νερό (aqua regia) (Μίγμα HCl – HNO_3 σε αναλογία 3:1) και η μέτρηση έγινε με την βοήθεια φασματόμετρου ατομικής απορρόφησης του οίκου Perkin Elmer 3300, το διαθέσιμο τρισθενές χρώμιο με την μέθοδος Lindsa and Norwell (1978) και ανταλλάξιμο εξασθενές χρώμιο με την μέθοδο του διφαινυλοκαρβαζιδίου (Gheju *et al*., 2009) ενώ στο φυτό προσδιορίστηκαν το ολικό χρώμιο με τη μέθοδο της ξηρής καύσης(Dry Ashing Procedure) (Jones and Case, 1990) και η μέτρηση έγινε με την βοήθεια φασματόμετρου ατομικής απορρόφησης του οίκου Perkin Elmer 3300 και στις δύο περιόδους και το εξασθενές χρώμιο με την μέθοδο του διφαινυλοκαρβαζιδίου.

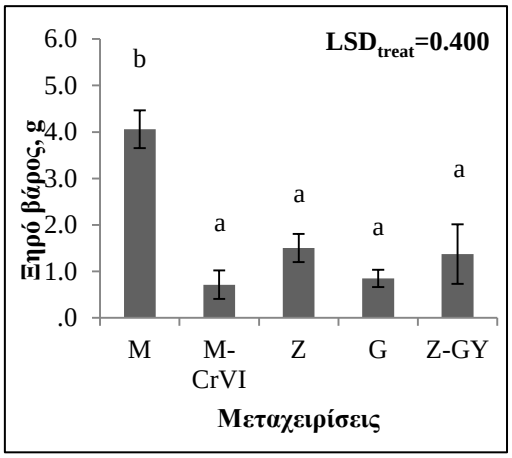
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ

3.1 Αποτελέσματα πρώτης περιόδου

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της πρώτης περιόδου το ολικό χρώμιο που μετρήθηκε στο φυτό του σπανακιού σε όλες τις μεταχειρίσεις ήταν μηδενικό. Αυτό πιθανόν οφείλεται είτε στο γεγονός

ότι η δόση του 1 mg CrVI kg^{-1} δεν είναι αρκετή για να προκαλέσει φυτοτοξικότητα στο σπανάκι είτε ότι τα φυτά κατάφεραν να αναπτύξουν φυσιολογικούς μηχανισμούς άμυνας και να μην επηρεαστούν από την παρουσία του χρωμίου.

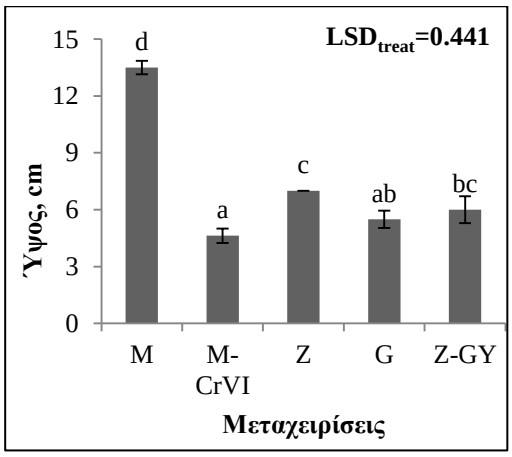
3.2 Αποτελέσματα δεύτερης περιόδου



Διάγραμμα 1. Ξηρό βάρος φυτών

Από το διάγραμμα 1 προκύπτει ότι η προσθήκη εξασθενούς χρωμίου (50 mg / kg) μείωσε το ξηρό βάρος των φυτών σε σχέση με τα φυτά του μάρτυρα Μ. Το αποτέλεσμα αυτό συμφωνεί με τα αποτελέσματα του Singh (2001) ο οποίος μελέτησε την επίδραση του εξασθενούς χρωμίου στο σπανάκι και διαπίστωσε ότι προκαλεί μείωση στο μέγεθος των φύλλων. Οι Gopal et al. (2009) μελέτησαν επίσης την επίδραση του εξασθενούς χρωμίου στην καλλιέργεια του σπανακιού. Χρησιμοποίησαν δύο δόσεις χρωμίου, 5.2 και 20.8 mg CrVI kg^{-1}, και διαπίστωσαν ότι τις πρώτες δέκα μέρες η παραγωγή της βιομάζας μειώθηκε σε σχέση με τον μάρτυρα και στις δύο δόσεις. Συγκεκριμένα στην δόση των 20.8 mg CrVI kg^{-1} η βιομάζα του φυτού τις πρώτες δέκα μέρες ήταν 1.88 g ανά φυτό και του μάρτυρα 2.88 g ανά φυτό. Ενώ μετά από σαράντα μέρες 3.47 και 8.08 g ανά φυτό φυτού και μάρτυρα, αντίστοιχα.

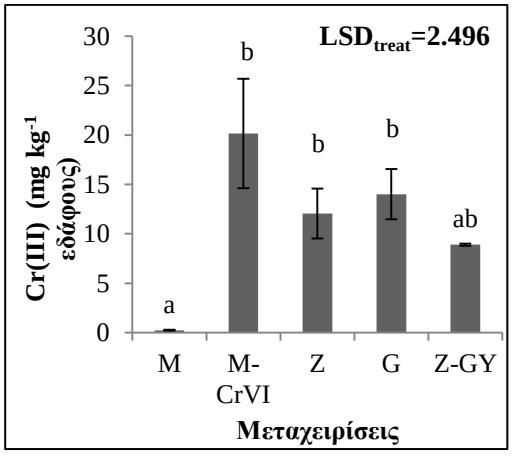
Από τα βελτιωτικά που χρησιμοποιήθηκαν κανένα δεν επέδρασε θετικά στην αύξηση του ξηρού βάρους σε σχέση με τα φυτά του μάρτυρα Μ. Σύμφωνα με τα δεδομένα της παρούσας εργασίας η μείωση του ξηρού βάρους βρέθηκε 83% στις μεταχειρίσεις που προστέθηκε CrVI. Οι Bolan et al. (2003) βρήκαν ότι το ξηρό βάρος του φυτού της Ινδικής μουστάρδας μειώθηκε κατά 15% στις μεταχειρίσεις στις οποίες προστέθηκε CrVI και βελτιωτικό.



Διάγραμμα 2. Ύψος φυτών

Από το διάγραμμα 2 προκύπτει ότι η προσθήκη εξασθενούς χρωμίου μείωσε σημαντικά το ύψος των φυτών σε σχέση με τα φυτά του μάρτυρα Μ. Τα βελτιωτικά που χρησιμοποιήθηκαν δεν κατάφεραν να επιδράσουν θετικά στην αύξηση του ύψους του φυτού σε σχέση με τα φυτά του μάρτυρα Μ. Σε σχέση όμως με τον M-CrVI ο ζεόλιθος και το σύστημα Z-GY προκάλεσαν στατιστικά σημαντική αύξηση στο ύψος των φυτών. Η μείωση του ύψους στον μάρτυρα στον οποίο προστέθηκε χρώμιο οφείλεται στην τοξική δράση του εξασθενούς χρωμίου. Ακόμα και η χρήση των βελτιωτικών δεν κατάφερε να αυξήσει το ύψος των φυτών στα επίπεδα του μάρτυρα Μ.

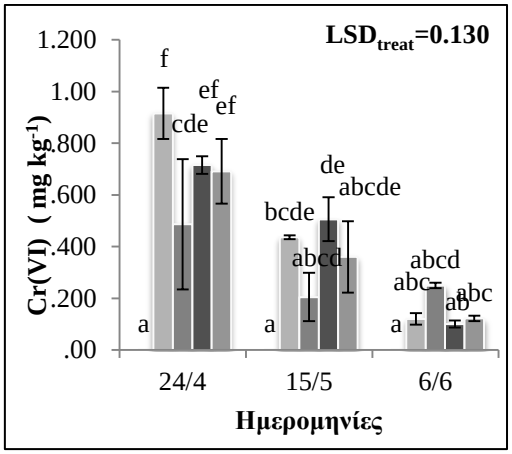
Τα διαγράμματα των φυτοκομικών χαρακτηριστικών (ύψος και ξηρό βάρος) δείχνουν καθαρά ότι η προσθήκη 50 mg CrVI kg^{-1} είχε τοξική επίδραση, καθώς οι παράμετροι αυτοί μειώθηκαν σημαντικά σε σχέση με το Μ.



Διάγραμμα 3. Τρισθενές χρώμιο εδάφους

Από το διάγραμμα 3 προκύπτει ότι η προσθήκη εξασθενούς χρωμίου αύξησε σημαντικά το εκχυλίσιμο τρισθενές χρώμιο στο έδαφος σε σχέση με το έδαφος του μάρτυρα Μ. Τα βελτιωτικά προκάλεσαν μια μικρή μείωση η οποία όμως δεν ήταν στατιστικά σημαντική σε σχέση με τον M-CrVI. Στο έδαφος το οποίο χρησιμοποιήθηκε για τη διεξαγωγή του πειράματος τα επίπεδα του ολικού χρωμίου ήταν αρκετά υψηλά (περίπου 298 mg kg^{-1}).

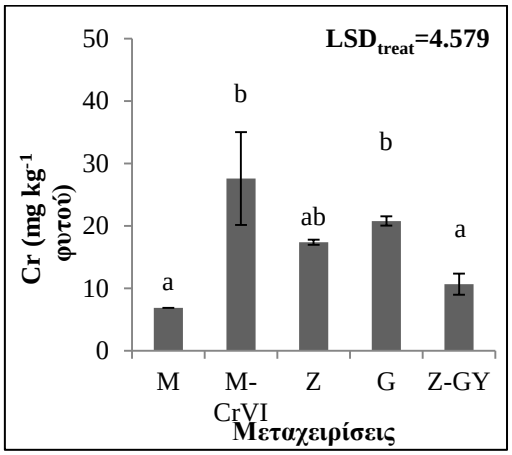
Η προσθήκη 50 mg CrVI kg^{-1} αύξησε την συγκέντρωση του ολικού χρωμίου στο έδαφος, περίπου στα 350 mg kg^{-1}. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση του εκχυλίσιμου τρισθενούς χρωμίου στο έδαφος μετά το πέρας του πειράματος.



Διάγραμμα 4. Ανταλλάξιμο εξασθενές χρώμιο εδάφους

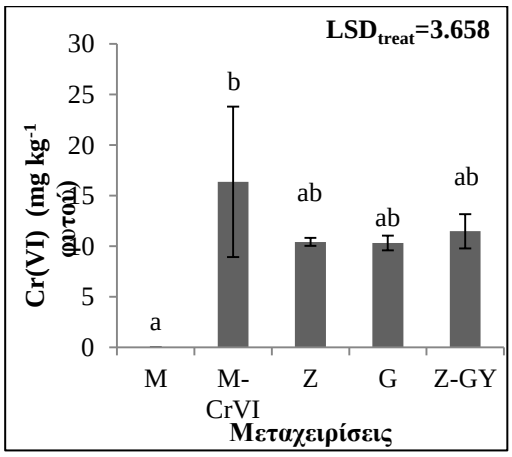
Ο προσδιορισμός του ανταλλάξιμου εξασθενούς χρωμίου σε νωπό δείγμα εδάφους έγινε σε τρεις ημερομηνίες στις 24/4/2011, στις 15/5/2011 και 6/6/2011.

Από το διάγραμμα 4 προκύπτει ότι το εξασθενές χρώμιο σε όλες τις μεταχειρίσεις είχε σταδιακή μείωση με την πάροδο του χρόνου. Οι Sharma and Foster (1993) έδειξαν η μέγιστη ικανότητα συγκράτησης ως προς το CrVI επετεύχθη σε τιμή pH 8.



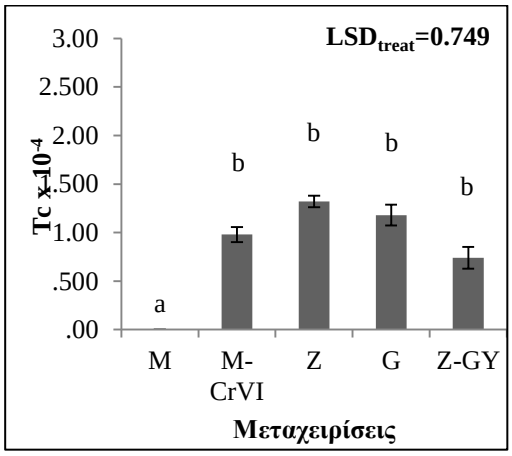
Διάγραμμα 5. Ολικό χρώμιο φυτών

Από το διάγραμμα 5 προκύπτει ότι από τα βελτιωτικά μόνο το σύστημα Z-GY μείωσε στατιστικά σημαντικά το ολικό χρώμιο στο φυτό σε σύγκριση με τον μάρτυρα M - CrVI.



Διάγραμμα 6. Εξασθενές χρώμιο φυτών

Από το διάγραμμα 6 προκύπτει ότι τα βελτιωτικά μείωσαν το εξασθενές χρώμιο στο φυτό αλλά η μείωση δεν ήταν στατιστικά σημαντική σε σύγκριση με τον μάρτυρα M. Οι Bank et al. (2006) όταν πρόσθεσαν οργανικά βελτιωτικά στο έδαφος βρήκαν ότι το η συγκέντρωση του CrVI στο φυτό μειώθηκε κατά 8% σε σύγκριση με τις μεταχειρίσεις στις οποίες δεν προστέθηκαν οργανικά βελτιωτικά. Σε αντίθεση τα δεδομένα της παρούσας εργασίας έδειξαν μια μείωση 31%. Επίσης, Οι Gopal et al. (2009) διαπίστωσαν ότι η ποσότητα του εξασθενούς χρωμίου που μεταφέρθηκε στο φυτό του σπανακιού σαράντα μέρες από την έναρξη του πειράματος στην δόση 20.8 mg CrVI kg^{-1} ήταν 760 μg g^{-1} ενώ στον μάρτυρα 1.06 μg g^{-1}. Σε αντίθεση οι δικές μας μετρήσεις έδειξαν τιμές μηδέν όσο αφορά την συγκέντρωση του εξασθενούς χρωμίου στο φυτό. Η διαφορά αυτή μεταξύ των εργασιών πιθανόν οφείλεται στις διαφορετικές δόσεις εξασθενούς χρωμίου που εφαρμόστηκαν.



Διάγραμμα 7. Συντελεστής μεταφοράς Tc

Από το διάγραμμα 7 προκύπτει ο συντελεστής μεταφοράς (Tc) δεν ήταν στατιστικά σημαντικός στα φυτοδοχεία στα οποία προστέθηκαν βελτιωτικά σε σύγκριση με τον μάρτυρα (M-CrVI).

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της πρώτης περιόδου η προσθήκη εξασθενούς χρωμίου στην καλλιέργεια του σπανακιού έδειξε μηδενικές τιμές για το ολικό χρώμιο στα φυτά γεγονός που δείχνει ότι 1 mg CrVI kg^{-1} δεν είναι αρκετό για να προκαλέσει φυτοτοξικότητα στο σπανάκι.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της δεύτερης περιόδου όταν προστέθηκαν 50 mg CrVI kg^{-1} τα βελτιωτικά δεν επέδρασαν θετικά στα αγρονομικά χαρακτηριστικά (ξηρό βάρος και ύψος) των φυτών σε όλες τις μεταχειρίσεις με εξαίρεση τον ζεόλιθο ο οποίος αύξησε σημαντικά το ύψος των φυτών σε σύγκριση με τον μάρτυρα M-CrVI. Η προσθήκη μόνο εξασθενούς χρωμίου αύξησε σημαντικά την περιεκτικότητα του εκχυλίσιμου με DTPA τρισθενούς χρωμίου. Το ανταλλάξιμο εξασθενές χρώμιο είχε σταδιακή μείωση με την πάροδο του χρόνου. Όσο αφορά την συγκέντρωση του ολικού χρωμίου στο φυτό μόνο το σύστημα Z-GY κατάφερε να την μειώσει σε σύγκριση με τον μάρτυρα M-CrVI. Τα βελτιωτικά δεν κατάφεραν να μειώσουν την συγκέντρωση του εξασθενούς χρωμίου στα φυτά και τον συντελεστή μεταφοράς Tc

Από όλα τα βελτιωτικά αυτό που θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί στην απομάκρυνση του εξασθενούς χρωμίου από την καλλιέργεια του σπανακιού είναι ο ζεόλιθος.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Abdus-Salam, N. and Adekola, F. A., 2005. The influence of pH and adsorbent concentrationon Adsorption of Lead and Zinc on a natural Goethite. African Journal of Science Technology 6: 55-66.

Banks, M. K., Schwab, A. P., & Henderson, C., 2006. Leaching and reduction of chromium in soil as affected by soil organic content and plants. Chemosphere 62: 225-264.

Bolan, N. S., Adriano, D. C., Natesan, R., & Koo, B. J. (2003). Effects of organic amendments on the reduction and phytoavailability of chromate in mineral soil. Journal of Environmental Quality 32: 120 - 128.

Dimirkou, A., Ioannou, Z., Golia, E., Danalatos, N., & Mitsios, I. (2009). Sorption of cadmium and arsenic by goethite and clinoptilolite. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 40, 259–272.

Donatella, F., Doumett, S., Lepri, L., Checchini, L., Gonnelli, C., Coppini, E., & Bubba, M. (2012). Distribution and mass balance of hexavalent and trivalent chromium in a subsurface, horizontal flow (SF-h) constructed wetland operating as post-treatment of textile wastewater for water reuse. Journal of Hazardous Materials, 199–200, 209–216.

Gheju, M., Balcu, I., & Ciopec, M. (2009). Analysis of hexavalent chromium uptake by plants in polluted soils. Ovidius University Annals of Chemistry 20: 127-131.

Golten, Y. A. (2011). Heavy metal contamination of surface soil around Gebze industrial area, Turkey. Microchemical Journal, 99, 82–92.

Gopal, R., Rizvi, A.H and Nautiyal, N., 2009. Chromium Alters Iron Nutrition and Water Relations of Spinach.Journal of Plant Nutrition 32: 1551 – 1559.

Jones, J.B. and Case, V.W., 1990. Soil testing and plant analysis. Chapter 15. Soi Science Society of America. 3rd edition. SSSA.

Kallo, D., 2001. Applications of natural zeolites in water and wastewater treatment, in: D.L. Bish, D.W.Ming (Eds.), Natural Zeolites: Occurrence, Properties, Applications 519 - 550.

Kesraouiouki, S., Cheeseman, C.R. and Perry, R., 1994. Natural zeolite utilization in pollution-control—a review of applications to metals effluents, Journal of Chemical Technology and Biotechnology 59: 121 - 126.

Kosmulski, M., Maczka, E., Jartych, E. and Rosenholm, J.B., 2003. Synthesis and characterization of goethite and goethite - hematite composite: experimental study and literature survey. Advances in Colloid and Interface Science 103: 57 – 76.

Lindsay, W.L. and Norvell, W.A., 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. Soil Science Society of America 42: 421 - 428.

Marcus, B. K. and Cornier, 1999. Going green with zeolites. Chemical Engineering Progress, June 1999. http://www.aiche.org.

Molla, K., Dimirkou, A. and Antoniadis, V., 2012. Hexavalent Chromium Dynamics and Uptake in Manure-Added Soil. Water Air Soil Pollut 223: 6059–6067

Schwertmann, U. and Cornell, R. M., 2000. The Iron Oxides in the laboratory. Preparation and characterization. Second, Completely Revised and Extended Edition. Weinheim: Wiley -VCH

Sharma, D. C., & Forster, C. F., 1993. Removal of hexavalent chromium using sphagnum moss peat. Water Research 7: 1201-1208.

Singh, A.K.,2001. Effect of trivalent and hexavalent chromium on spinach (Spinacea oleracea L). Environmental Ecology 19: 807 -810.

Papafilippaki, A., Gasparatos, D., Haidouti, C., & Stavroulakis, G., 2007. Total and bioavailable forms of Cu, Zn, Pb and Cr inagricultural soils: a study from the hydrological basinof Keritis, Chania, Greece. Global Nest Journal, 9, 201–206.

Zoffoli, H. J. O., do Amaral-Sobrinho, N. M. B., Zonta, E., Luisi, M. V., Marcon, G., & Tolón-Becerra, A., 2012. Inputs of heavy metals due to agrochemical use in tobacco fields in Brazil's Southern Region. Environmental Monitoring and Assessment. doi:10.1007/s10661-012-2721-y.

Διονυσίου, Ο.Ν., 2010. Μελέτη της ικανότητας του τροποποιημένου ζεόλιθου ως μέσο απορρύπανσης υδάτων άρδευσης. Διδακτορική διατριβή. Α.Π.Θ.

ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΠΑΡΑΛΛΑΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΑΖΩΤΟΥ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΙΣΗΣ ΑΠΟ ΜΗ ΕΠΑΝΔΡΩΜΕΝΟ ΕΛΙΚΟΠΤΕΡΟ ΓΙΑ ΤΗΝ ΟΡΘΟΛΟΓΙΚΗ ΛΙΠΑΝΣΗ ΤΟΥ ΚΑΛΑΜΠΟΚΙΟΥ

Μιλτιάδης Ιατρού[1], Αριστοτέλης Παπαδόπουλος[1], Φραντζής Παπαδόπουλος[1], Πολυξένη Ψωμά[1], Αρετή Μπούντλα[1], Σοφία Θεοδωρίδου[2], Κωνσταντίνος Καλογερόπουλος[2], Σταυρούλα Κυπαρίσση[2]
[1]Ινστιτούτο Εδαφολογίας Θεσσαλονίκης, Ελληνική Γεωργική Σχολή, Θέρμη, Θεσσαλονίκη, Τ.Κ. 570 01
[2]Γεωανάλυση Α.Ε., Γεννηματά 54, Φοίνικας, Θεσσαλονίκη, Τ.Κ. 551 34

Στις σύγχρονες μεθόδους γεωργίας ακριβείας που στοχεύουν στην ορθολογική αζωτούχο λίπανση καλλιεργειών καλαμποκιού περιλαμβάνεται η τηλεπισκόπιση. Μια εξαιρετικά αποτελεσματική τεχνική για τη γρήγορη συλλογή δεδομένων από μεγάλες περιοχές είναι η τηλεπισκόπιση με τη χρήση μη επανδρωμένου ελικοπτέρου. Σε άλλες χώρες είναι διαδεδομένη η χρήση του αλγόριθμου που συσχετίζει το δείκτη επάρκειας αζώτου (SI) σε καλλιέργειες καλαμποκιού με τη δοσολογία αζωτούχου λίπανσης για την επίτευξη μέγιστης απόδοσης. Ο δείκτης SI υπολογίζεται από τον κανονικοποιημένο δείκτη βλάστησης (NDVI) με βάση κάποια περιοχή μέσα στην καλλιέργεια που είναι υπό εξέταση, η οποία έχει τροφοδοτηθεί επαρκώς με άζωτο (δεν υπάρχει η πιθανότητα μειωμένης απόδοσης). Στην Ελλάδα όμως, λόγω του μικρού μεγέθους του κλήρου, η κανονικοποίηση αυτή είναι αδύνατο να επιτευχθεί σε συνθήκες γεωργικής πρακτικής ρουτίνας. Έτσι, με τη διενέργεια ενός πειράματος καλαμποκιού τεσσάρων δόσεων αζώτου (N) προσδιορίσαμε δύο αλγόριθμους: α) αυτός που προσδιορίζει τη σχέση μεταξύ του δείκτη SI με τη δοσολογία αζωτούχου λίπανσης για την επίτευξη μέγιστης απόδοσης (SI = 0,655 + 0,002 (δόση N) – 0,000003 (δόση N)^2, R^2 = 0,60) και β) αυτός που προσδιορίζει τη σχέση μεταξύ του νιτρικού αζώτου στο έδαφος και του SI (Soil NO_3-N = 35,18 $SI^{2,561}$, R^2 = 0,51). Ο τελευταίος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό εμμέσως του SI με τη χρήση μόνο ενός δείγματος εδάφους (ομογενοποιημένο δείγμα πολλών υποδειγμάτων από μια περιοχή του αγρού) με σκοπό την παράλειψη του προσδιορισμού του SI με την τεχνική της χρήσης μιας περιοχής που έχει τροφοδοτηθεί επαρκώς με άζωτο μέσα στο τεμάχιο που γίνεται η λήψη των δεδομένων τηλεπισκόπισης.

Λέξεις κλειδιά: τηλεπισκόπιση, δείκτης επάρκειας αζώτου, αζωτούχος λίπανση, καλαμπόκι, νιτρικό άζωτο εδάφους, μη επανδρωμένο ελικόπτερο

DETERMINING NITROGEN VARIABILITY USING REMOTE SENSING FROM AN UNMANNED AERIAL VEHICLE FOR SOUND FERTILIZATION OF CORN

Miltiadis Iatrou[1], Aristotelis Papadopoulos[1], Frantzis Papadopoulos[1], Polyxeni Psoma[1], Areti Bountla[1], Sofia Theodoridou[2], Konstantinos Kalogeropoulos [2], Stauroula Kiparissi[2]
[1]Soil Science Institute of Thessaloniki, 570 01, Thermi-Thessaloniki, Greece
[2]Geoanalysis SA, 551 34, 54 Genimata, Thessaloniki, Greece
iatrou@ssi.gov.gr, director@ssi.gov.gr, tzeni@ssi.gov.gr, areti@ssi.gov.gr, sofia@geoanalysis.gr, kkalogeropoulos@geoanalysis.gr, skiparissi@geoanalysis.gr

Remote sensing is included in the modern methods of precision agriculture aiming sound fertilization of crops. An excellent technique for rapid collection of data from large areas is remote sensing using an unmanned aerial vehicle. In other countries the use of an algorithm correlating the nitrogen Sufficiency Index (SI) with nitrogen application rates for the maximization of yield is well established. SI is calculated by using the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) of the corn crop compared to NDVI data from a well-fertilized area within the field (non yield limiting). In Greece though, because of the small size of the field parcels, this standardization is not possible to be obtained under the routine agricultural practice. Thus, by conducting a corn experiment of four nitrogen (N) rates two algorithms were determined: a) one for determining the relationship between SI and nitrogen application rate for maximization of yield (SI = 0,655 + 0,002 (N rate) – 0,000003 (N rate)^2, R^2 = 0,60) and b) a second one for determining the relationship between soil nitrate-N and SI (Soil NO_3-N = 35,18 $SI^{2,561}$, R^2 = 0,51). The latter can be used for determining SI indirectly by using a soil sample (a composite soil sample including several subsamples from an area within the field) in order to eliminate the determination of SI with the use of a well-fertilized area within the field parcel.

Key words: remote sensing, sufficiency index, nitrogen fertilization, corn, soil nitrate nitrogen, unmanned aerial vehicle

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η τηλεπισκόπιση παρέχει σημαντικά πλεονεκτήματα όσον αφορά την καταγραφή της θρεπτικής κατάστασης των φυτών σε Ν κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου σε σύγκριση με τις παραδοσιακές τεχνικές φυλλοδιαγνωστικής (ανάλυση ολικού αζώτου σε ολόκληρο φύλλο και μέτρηση της σχετικής συγκέντρωση της χλωροφύλλης με χλωροφυλλόμετρο). Έτσι, η τηλεπισκόπιση παρέχει τη δυνατότητα της γρήγορης συλλογής δεδομένων από μεγάλες περιοχές και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να αναγνωρίσει τη διαφορά των χαρακτηριστικών των φυτών (το ποσοστό των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων που ανακλώνται στα διαφορετικά μήκη κύματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας) εντός ενός αγροτεμαχίου. Αυτή η καταγραφή της διαφοροποίησης της ανακλώμενης ακτινοβολίας από την καλλιέργεια μπορεί να βοηθήσει στην ανάληψη μιας ομογενούς διαχείρισης συγκεκριμένων τμημάτων του αγροτεμαχίου (Jones and Vaughan, 2010).

Αντιθέτως, η φυλλοδιαγνωστική (ανάλυση ολικού Ν σε φυτικό ιστό) είναι χρονοβόρα και απαιτεί την ιδιαίτερη πρόνοια του παραγωγού για πιστή τήρηση των πρωτοκόλλων δειγματοληψίας. Έτσι, απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή κατά την επιλογή και συλλογή των δειγμάτων, τη μεταχείριση, την προετοιμασία, την αποστολή, μεταφορά και ανάλυση τους στο εργαστήριο. Διαφορετικά αναξιόπιστα αποτελέσματα θα ληφθούν από την ανάλυση αυτών των δειγμάτων και η ερμηνεία τους θα οδηγήσει σε λαθεμένη σύσταση λίπανσης. Επιπλέον, η ανάλυση σε επίπεδο χωραφιού γίνεται σε ένα δείγμα που έχει ληφθεί από φύλλα που τυχαιοποιημένα συλλέχθηκαν από το σύνολο του χωραφιού με αποτέλεσμα να μη προσφέρεται η δυνατότητα για διαφορετική διαχείριση συγκεκριμένων τμημάτων του αγροτεμαχίου ανάλογα με τη θρεπτική κατάσταση της καλλιέργειας (Jones and Vaughan, 2010). Το ίδιο μειονέκτημα εντοπίζεται και στην περίπτωση της χρήσης του χλωροφυλλόμετρου, με το οποίο γίνεται μέτρηση ορισμένων φύλλων από πολλά σημεία του αγροτεμαχίου και η σύσταση λίπανσης βασίζεται στο μέσο όρο των μετρήσεων αυτών.

Ωστόσο, η τηλεπισκόπιση και η χρήση του χλωροφυλλόμετρου για την καταγραφή της θρεπτικής κατάστασης των φυτών σε Ν απαιτούν το καθορισμό μέσα στο αγροτεμάχιο μιας ζώνης που έχει λιπανθεί επαρκώς με Ν, για τον προσδιορισμό του δείκτη επάρκειας Ν (Sufficiency Index, SI). Αυτό είναι απαραίτητο εξαιτίας του γεγονότος ότι η συγκέντρωση της χλωροφύλλης στον φυτικό ιστό είναι σχετιζόμενη με άλλους παράγοντες όπως ο τύπος του εδάφους, το κλίμα, ο φωτισμός, η υδατική κατάσταση του φυτικού ιστού, η εξαιρετική απόχρωση του πράσινου που μπορεί να έχει το κάθε υβρίδιο (συγκέντρωση χλωροφύλλης) και οι ασθένειες των φύλλων (Jones and Vaughan, 2010). Το SI είναι ο λόγος της μέτρησης του κανονικοποιημένου δείκτη βλάστησης (NDVI) των φυτών (ο πιο γνωστός δείκτης που χρησιμοποιείται στην τηλεπισκόπιση) που δεν έχουν λιπανθεί επαρκώς με Ν, προς τη μέτρηση του NDVI αυτών των φυτών που έχουν λιπανθεί επαρκώς με Ν (Varvel et al., 2007; Clay et al., 2012). Παρόλο όμως που είναι απαραίτητη αυτή η στανταροποίηση του NDVI ώστε να καταστεί εφικτός ο προσδιορισμός της θρεπτικής κατάστασης της καλλιέργειας σε Ν, σε συνθήκες γεωργικής πρακτικής ρουτίνας η διαδικασία αυτή δεν είναι εύκολη, πολύ δε περισσότερο στην Ελλάδα λόγω του σχετικά μικρού μεγέθους του κλήρου. Οι Clay et al. (2012) αναφέρουν ότι ακόμα δεν είναι σαφές πόσες θα πρέπει είναι οι ζώνες μέσα στην καλλιέργεια που θα πρέπει να έχουν λιπανθεί επαρκώς με Ν (και άρα τι μέγεθος θα πρέπει να έχουν) και που ακριβώς θα πρέπει να βρίσκονται μέσα στο χωράφι. Επίσης, σύμφωνα με τους Fox et al. (2001), η απροθυμία των παραγωγών να εγκαταστήσουν αυτές τις ζώνες επάρκειας Ν μέσα στα χωράφια τους είναι η σημαντικότερη αιτία που περιορίζει τη χρήση του χλωροφυλλόμετρου στις Η.Π.Α.

Οι στόχοι της εργασίας αυτής ήταν: α) να εξεταστεί εάν η τηλεπισκόπιση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την έγκαιρη διάγνωση της έλλειψης ή επάρκειας Ν με σκοπό την αύξηση της παραγωγικότητας και της ταυτόχρονης μείωσης Ν λίπανσης στην καλλιέργεια, β) να κατασκευαστεί ένα αλγόριθμος που να συνδέει την Ν λίπανση με το δείκτη βλάστησης της καλλιέργειας καλαμποκιού και γ) να συσχετιστεί η ανάλυση νιτρικών του εδάφους με το δείκτη βλάστησης της καλλιέργειας.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Διενεργήθηκε ένα πείραμα καλαμποκιού (*Zea mays L.,* Pioneer G44) στην πειραματική περιοχή του Ινστιτούτου Εδαφολογίας Θεσσαλονίκης το καλοκαίρι του 2011 και εφαρμόστηκαν 4 μεταχειρίσεις Ν που εφαρμόστηκαν ως νιτρική αμμωνία: 0, 15, 25 και 35 kg N στρ.$^{-1}$. Το έδαφος στο οποία πραγματοποιήθηκε το πείραμα ήταν μέσης μηχανικής σύστασης και είχε: pH 7,98, EC 0.406, $CaCO_3$ 2,2%, οργανική ουσία 0.98%, φώσφορο 17,9 mg kg^{-1} εδάφους, κάλιο 162 mg kg^{-1} εδάφους και μαγνήσιο 30,4 mg kg^{-1} εδάφους. Η σπορά έγινε στις 2 Μαΐου 2011. Η λίπανση εφαρμόστηκε σε δύο δόσεις: μια εφαρμογή έγινε κατά τη σπορά με ενσωμάτωση και η επόμενη επιφανειακά 6 εβδομάδες αργότερα. Το σχέδιο του πειράματος ήταν πλήρως τυχαιοποιημένο με 4 επαναλήψεις για κάθε μεταχείριση και το μέγεθος του κάθε πειραματικού τεμαχίου ήταν 144 m^2. Η απόσταση μεταξύ των γραμμών σποράς ήταν 80 cm. Οι ανάγκες της καλλιέργειας σε νερό καλύφθηκαν με καταιονισμό. Γενικά, μελετήθηκε η επίδραση των 4 δόσεων Ν λίπανσης στην απόδοση της καλλιέργειας του καλαμποκιού, στο δείκτη βλάστησης της καλλιέργειας, και τα επίπεδα των νιτρικών του εδάφους στο κάθε πειραματικό τεμάχιο.

Έγιναν δυο μετρήσεις με το ελικόπτερο: 31-05-2011 και 30-06-2011. Η πρώτη μέτρηση έγινε όταν τα περισσότερα φυτά είχαν εμφανίσει το 8^ο φύλλο (Εικόνα 1). Όταν έγινε η πρώτη πτήση με το

ελικόπτερο ελήφθησαν 13 δείγματα εδάφους ανά πειραματικό τεμάχιο και αναλύθηκαν για νιτρικά. Το βάθος δειγματοληψίας ήταν τα 30 cm. Ο δείκτης NDVI υπολογίστηκε από τα δεδομένα που ελήφθησαν από την κάμερα που προσαρτήθηκε στο ελικόπτερο και διαιρέθηκε από τη μέση τιμή NDVI που βρέθηκε στα πειραματικά τεμάχια που λιπάνθηκαν με τη μέγιστη δοσολογία N, ώστε να υπολογιστεί ο δείκτης επάρκειας N (SI). Η συγκέντρωση των νιτρικών προσδιορίστηκε με τη χρήση 0,5 M K_2SO_4 εκχυλιστικού και ενός φασματοφωτόμετρου UV-VIS (Hitachi, U-2900).

Τα φασματικά δεδομένα συλλέχτηκαν από την Γεωανάλυση Α.Ε. με τη χρήση μεθόδων τηλεπισκόπισης και μιας στάνταρτ πολυφασματικής κάμερας, η οποία προσαρμόστηκε σε ένα μη επανδρωμένο πτητικό μέσο (ελικόπτερο). Η χρήση του ελικοπτέρου επελέγη διότι οι πτήσεις που γίνονται από χαμηλό ύψος με τη χρήση μη επανδρωμένων μέσων αποτρέπουν τις σημαντικές αλληλεπιδράσεις του μετρούμενου ανακλώμενου φωτός που παρατηρούνται από την ανάκλαση του φωτός στην ατμόσφαιρα όταν οι εικόνες λαμβάνονται από αεροπλάνο ή δορυφόρο (Jones and Vaughan, 2010). Οι μετρήσεις του δείκτη βλάστησης έγιναν από πολυφασματική κάμερα στο ορατό, κοντά στο υπέρυθρο (near-infrared) και στο θερμικό υπέρυθρο φάσμα με 25° γωνία οπτικής παρατήρησης. Οι φασματικές περιοχές που κατέγραψε η κάμερα ήταν: 450, 550, 650, 700, 850 και 950 με ±40nm. Η χωρική διακριτική ικανότητα ήταν 2,6 cm. Οι μετρήσεις έγιναν με καθαρό ουρανό βαθμονομημένες με 99% Spectralon panel και 40-50° ηλιακό ζενίθ σε ναδίρ προσανατολισμό. Η καταγραφή των δεδομένων έγινε σε έξι φασματικά κανάλια των 10 bit SXGA και το κάθε φασματικό κανάλι είχε το δικό του φίλτρο (ένα τυπικό φίλτρο φασματοσκόπιου) για να παράγει συγχρονισμένες απεικονίσεις χωρίς λάθη μεταξύ των εικόνων. Τα φασματικά κανάλια είχαν ένα εύρος από 350-5500 nm με φασματική ανάλυση που κυμαινόταν μεταξύ 3,0 και 10 nm, βασισμένη στο μήκος κύματος. Για να καθοριστεί η συγκέντρωση της χλωροφύλλης στη βλάστηση (η οποία είναι εξαρτώμενη από τη συγκέντρωση N), καταγράφηκαν τα διακριτά χρώματα (μήκη κύματος) της ηλιακής ακτινοβολίας του ορατού και κοντά στο υπέρυθρο που αντανακλάστηκε από τα φυτά.

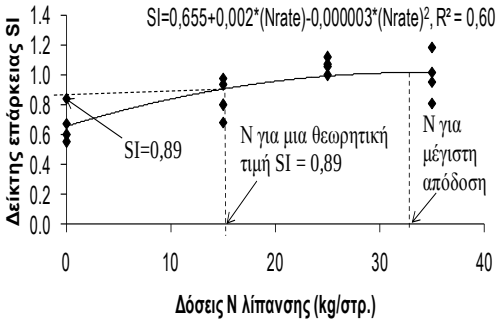
Όταν γίνεται χρήση των αισθητήρων που είναι προσαρμοσμένες πάνω σε UAV, θα πρέπει να γίνεται διόρθωση των γεωμετρικών χαρακτηριστικών, διόρθωση βινιέτας και βαθμονόμηση των δεδομένων που συλλέγονται. Μετά την προπαρασκευαστική ανάλυση, ακολούθησαν οι στάνταρτ διαδικασίες διόρθωσης. Αυτές οι διαδικασίες περιελάμβαναν ραδιομετρική διόρθωση ώστε να διορθωθούν οι εικόνες για τις ατμοσφαιρικές συνθήκες που επικράτησαν κατά τη στιγμή της λήψης και γεωμετρική διόρθωση ώστε να ληφθεί υπόψη η γεωμετρική παραμόρφωση εξαιτίας των φακών της κάμερας, αστάθειας του αεροσκάφους ή μη γραμμικής σάρωσης και άλλες συνθήκες λήψεις των φωτογραφιών (όπως π.χ. πλάγιες προβολές). Επίσης, έγινε γεωαναφορά των εικόνων και δημιουργήθηκαν μωσαϊκά ορθοεικόνων. Έγινε μετατροπή από τις τιμές DN στις ραδιομετρικές τιμές και η ανάλυση έγινε στις τιμές ανάκλασης.

Εικόνα 1. Παράδειγμα λήψης φωτογραφίας από το ελικόπτερο όπως φαίνεται στις τρεις ορατές φασματικές ζώνες.

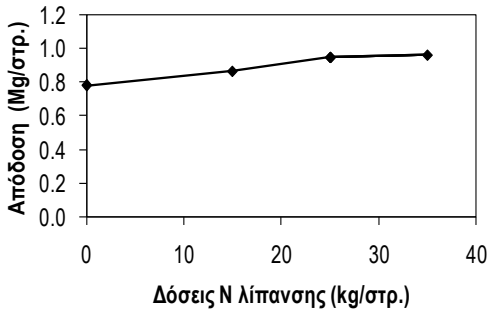
Τα δεδομένα που ελήφθησαν από το πείραμα χρησιμοποιήθηκαν για να εξαχθούν οι εξισώσεις παλινδρόμησης. Τα μοντέλα παλινδρόμησης προσαρμόστηκαν βασισμένα στις εξισώσεις που έδωσαν την καλύτερη συσχέτιση. Η επίδραση της N λίπανσης στις διάφορες παραμέτρους που μελετήθηκαν αναλύθηκε στατιστικά με τη χρήση της διαδικασίας ANOVA του στατιστικού πακέτου Genstat (version 11, VSN International Ltd, Oxford, UK) σε επίπεδο σημαντικότητας 0,05.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Το εύρος των τιμών NDVI κατά την πρώτη πτήση του ελικοπτέρου ήταν *από* –0,5596 έως 0.7866. Οι τιμές του δείκτη NDVI παρουσίασαν αύξηση με την αύξηση της δοσολογίας N (p<0,001). Για το λόγο αυτό κατασκευάστηκε ένα αλγόριθμος, σύμφωνα με τη διαδικασία που ακολουθήθηκε από τους Varvel et al. (2007), ο οποίος συσχετίζει τη δοσολογία της N λίπανσης με το δείκτη επάρκειας N (SI) (Διάγραμμα 1). Σύμφωνα με τον αλγόριθμο αυτό υπολογίζεται ότι η απόδοση της καλλιέργειας καλαμποκιού μεγιστοποιήθηκε (όταν δηλαδή αποκτήθηκε η μέγιστη τιμή SI) σε μια δόση N που αντιστοιχούσε στα 33,3 kg στρ.$^{-1}$. Η απόδοση της καλλιέργειας του καλαμποκιού σε σχέση με τη δοσολογία της N λίπανσης παρουσιάζεται στο Διάγραμμα 2. Στην εικόνα 2 φαίνεται ο χάρτης της διαφοροποίησης της συγκέντρωσης της χλωροφύλλης στα διάφορα πειραματικά τεμάχια, όπως καθορίστηκε από το δείκτη NDVI.

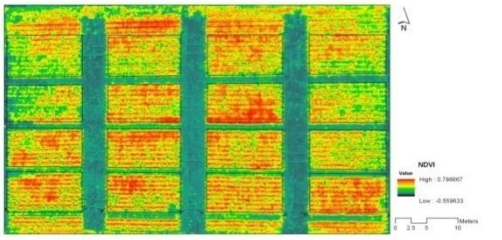


Διάγραμμα 1. Ο αλγόριθμος υπολογισμού της N λίπανσης του καλαμποκιού βασισμένος στο SI.

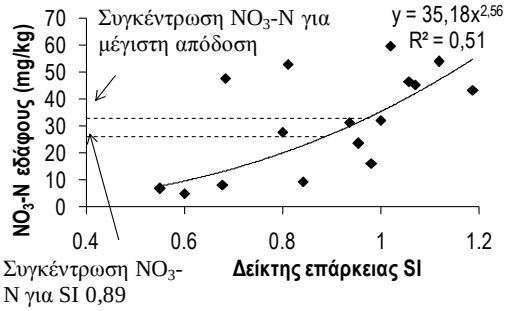


Διάγραμμα 2. Η απόδοση του καλαμποκιού σε σχέση με την N λίπανση.

Οι διαφορές μεταξύ των τεσσάρων μεταχειρίσεων N όσον αφορά τα επίπεδα νιτρικού-N στα πειραματικά τεμάχια ήταν στατιστικά σημαντικές όπως αναμενόταν (p<0,001). Οι τιμές του νιτρικού-N έδωσαν καλή συσχέτιση (r^2 = 0,51) με το SI (Διάγραμμα 3). Άρα, από το Διάγραμμα 3 δείχνεται ότι εφόσον ένα δείγμα εδάφους αναλυθεί για νιτρικά, η τιμή SI μπορεί να προσδιοριστεί για φυτά καλαμποκιού που αναπτύσσονται στο συγκεκριμένο τμήμα εδάφους.



Εικόνα 2. Ο χάρτης της θρεπτικής κατάστασης των φυτών καλαμποκιού όπως καθορίστηκε από το δείκτη βλάστησης της καλλιέργειας.



Διάγραμμα 3. Η σχέση μεταξύ του SI και του νιτρικού-N (mg/kg) του εδάφους για καλλιέργεια καλαμποκιού. Οι μετρήσεις νιτρικού-N του εδάφους όπως φαίνονται στο διάγραμμα είναι ο μέσος όρος τιμών 13 δειγμάτων για κάθε πειραματικό τεμάχιο.

4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Ο δείκτης NDVI έχει επί μακρόν αναγνωριστεί ότι έχει τη δυνατότητα να καθορίζει τη θρεπτική κατάσταση της καλλιέργειας σε N (Fox and Walthall, 2001). Η διαφοροποίηση στις τιμές του NDVI για τις διαφορετικές μεταχειρίσεις N στην παρούσα εργασία επιβεβαιώνει ότι ο δείκτης βλάστης της καλλιέργειας καλαμποκιού μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως δείκτης για την αποφυγή απωλειών απόδοσης. Ωστόσο, θα πρέπει οι τιμές NDVI να μεταφραστούν σε κατάλληλες δόσεις λίπανσης N για να έχει νόημα η διαδικασία αυτή στην πράξη. Για το λόγο αυτό ένας αλγόριθμος κατασκευάστηκε ο οποίος συνδέει την N λίπανση του καλαμποκιού με το SI (Διάγραμμα 1). Η εξίσωση αυτή έδειξε ότι η απόδοση μεγιστοποιήθηκε (όταν μεγιστοποιήθηκε το SI) στα 33,3 kg N στρ.$^{-1}$. Αυτή η τιμή είναι αρκετά υψηλότερη από τα 17,9 kg N στρ.$^{-1}$ που έχουν προταθεί από τους Varvel et al. (2007) ως βέλτιστη δόση N για καλλιέργεια καλαμποκιού. Ωστόσο, η τιμή αυτή δεν ήταν μη αναμενόμενη, καθώς για τους σκοπούς της παρούσας εργασίας ακολουθήθηκε η στάνταρτ γεωργική πρακτική για τις Ελληνικές συνθήκες, που περιλαμβάνει μόνο δύο δόσεις N (μια κατά τη σπορά και μια ακόμη κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου). Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι στην περίπτωση των Varvel et al. (2007) χρησιμοποιήθηκαν 6 δόσεις N. Σύμφωνα με τους Karyotis et al. (2006), οι παραγωγοί καλαμποκιού στην Ελλάδα χρειάζεται να εφαρμόσουν 32-35 kg N στρ.$^{-1}$ και αυτή η δοσολογία μπορεί να μειωθεί στα 17-21 kg N στρ.$^{-1}$ εάν το N εφαρμοστεί σε 10-13 δόσεις μέσω συστήματος στάγδην άρδευσης. Όμως, θεωρητικά, ακόμη και εάν εφαρμοζόταν σύστημα στάγδην άρδευσης σε καλλιέργεια καλαμποκιού και λαμβάνονταν δεδομένα με τηλεπισκόπιση για το δείκτη βλάστησης της καλλιέργειας, η εξίσωση που παρουσιάζεται στο Διάγραμμα 1 θα εξακολουθούσε να μπορεί να παρέχει τη δυνατότητα έγκαιρης διάγνωσης της θρεπτικής κατάστασης της καλλιέργειας καθώς οι ίδιες ποσότητες N αν δίνονταν σε μικρότερες δόσεις αλλά σε συχνότερα διαστήματα, θα είχαν ως αποτέλεσμα υψηλότερες τιμές SI και άρα η σύσταση λίπανσης για N θα ήταν μικρότερη. Αυτό όμως μένει να αποδειχτεί με επιπλέον πειράματα που θα πρέπει να γίνουν για να διαφωτίσουν το θέμα αυτό.

Ο αλγόριθμος του Διαγράμματος 1 δείχνει ότι η δόση N λίπανσης μπορεί να καθοριστεί ακολουθώντας την εξής διαδικασία: συλλέγονται τα δεδομένα της τηλεπισκόπισης κατά τη διάρκεια της βλαστικής ανάπτυξης της καλλιέργειας του καλαμποκιού (οι Varvel et al. (2007) έδειξαν ότι η εξίσωση δεν άλλαξε για τα στάδια ανάπτυξης από την εμφάνιση του 8^{ου} μέχρι την εμφάνιση του 12^{ου} φύλλου των φυτών του καλαμποκιού), και τα δεδομένα αυτά συγκρίνονται με δεδομένα από μια περιοχή του χωραφιού που έχει λιπανθεί επαρκώς με N ώστε να υπολογιστεί το SI. Εφόσον έχουμε τις τιμές SI, η εξίσωση λύνεται ως προς το N, και η τιμή για το N αντιπροσωπεύει τις απαιτήσεις της καλλιέργειας σε N. Εάν για παράδειγμα είχαμε μια τιμή SI που θα αντιστοιχούσε στο 0,89, η εξίσωση θα παρείχε μια εκτίμηση για τις ανάγκες της καλλιέργειας σε N που θα αντιστοιχούσε στα 15,3 kg N στρ.$^{-1}$ (τα οποία θεωρητικά έχουν ήδη εφοδιαστεί στα φυτά) και θα συνιστούσε 18 (33,3-15,3) kg N στρ.$^{-1}$, τα οποία θα έπρεπε επιπλέον να εφαρμοστούν για να αποκτηθεί ή μέγιστη τιμή SI (και άρα η μέγιστη απόδοση).

Η εξίσωση στο Διάγραμμα 3 δείχνει ότι εφόσον ένα δείγμα εδάφους αναλυθεί για νιτρικά, οι τιμές SI μπορούν να καθοριστούν. Έτσι για παράδειγμα εάν ληφθούν δεδομένα τηλεπισκόπισης από μια περιοχή του χωραφιού και γίνει από το τμήμα αυτό ανάλυση εδάφους για νιτρικό-Ν, τότε μπορεί να προσδιοριστεί μια τιμή αναφοράς $NDVI_{αναφοράς}$ από τον εξής τύπο:

$$SI = \frac{NDVI}{NDVI_{αναφοράς}} \qquad (1)$$

ή

$$NDVI_{αναφοράς} = \frac{NDVI}{SI} \qquad (2)$$

όπου το SI υπολογίζεται από την εξίσωση του Διαγράμματος 3 και το NDVI δίνεται από τα δεδομένα της τηλεπισκόπισης. Η σημασία του προσδιορισμού του $NDVI_{αναφοράς}$ είναι ιδιαίτερα μεγάλη, εάν σκεφτούμε ότι αυτό θα έδινε τη δυνατότητα να ληφθούν δεδομένα τηλεπισκόπισης από το υπόλοιπο του χωραφιού και έτσι να προσδιοριστούν ομοιογενείς ζώνες διαχείρισης της Ν λίπανσης εντός του χωραφιού, ενώ παράλληλα θα δινόταν η δυνατότητα παράλειψης της εγκατάστασης μιας ζώνης εντός του αγρού που έχει λιπανθεί επαρκώς με Ν. Οι περισσότερες εργασίες μέχρι τώρα έχουν χρησιμοποιήσει την τηλεπισκόπιση για τον προσδιορισμό της θρεπτικής κατάστασης σε Ν της καλλιέργειας. Απ' όσο γνωρίζουμε υπάρχει μόνο μια εργασία που δείχνει ότι η τηλεπισκόπιση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για το καθορισμό της διαθεσιμότητας του Ν στο έδαφος (Diker and Bausch, 1998). Στην παρούσα εργασία η αντίθετη διαδικασία προτείνεται ότι μπορεί να ακολουθηθεί. Δηλαδή, η ανάλυση του νιτρικού-Ν στο έδαφος να χρησιμοποιηθεί για γίνει εκτίμηση των τιμών SI. Άρα, η ανάλυση του νιτρικού-Ν στο έδαφος, καθώς είναι μια εύκολη και προσιτή από άποψη κόστους διαδικασία, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως μια έμμεση διαδικασία στανταροποίησης των τιμών NDVI και έτσι σε συνδυασμό με την τηλεπισκόπιση, και τη βοήθεια ειδικών αλγορίθμων, μπορούν να παρέχουν χρήσιμες πληροφορίες για καλύτερη διαχείριση του Ν. Αυτή η διαδικασία επιπλέον θα καθιστούσε σημαντική την ανάλυση του νιτρικού-Ν στο έδαφος εντός της καλλιεργητικής περιόδου, αφού σήμερα η ανάλυση του νιτρικού-Ν στο έδαφος χρησιμοποιείται μόνο προφυτρωτικά, καθώς η συγκέντρωση των νιτρικών στο έδαφος μεταβάλλεται γρήγορα κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης των φυτών λόγω της πρόσληψής τους από τις ρίζες.

Η εξίσωση του Διαγράμματος 3 δείχνει ότι εάν είχαμε μια θεωρητική τιμή SI = 0,89, αυτό θα αντιστοιχούσε σε μια τιμή νιτρικού-Ν 26 mg kg^{-1} και θα χρειαζόταν για να επιτευχθεί η μέγιστη τιμή SI, και άρα η μέγιστη απόδοση, να φτάσουμε σε μια τιμή νιτρικού-Ν που θα αντιστοιχούσε στα 33 mg kg^{-1}. Εάν η καλλιέργεια ήταν πολύ ελλειμματική σε Ν και λαμβάναμε SI = 0,6, η εξίσωση του Διαγράμματος 3 θα μας έδειχνε ότι το επίπεδο νιτρικού-Ν στο έδαφος θα ήταν 9,5 mg kg^{-1}. Σύμφωνα με τους Magdoff et al. (1990), εάν το επίπεδο νιτρικού-Ν στο έδαφος προφυτρωτικά για καλλιέργεια καλαμποκιού είναι μεταξύ 5 και 10 mg kg^{-1}, η συνιστώμενη δόση Ν για την επίτευξη μέγιστης απόδοσης είναι 15,7 kg Ν στρ.$^{-1}$. Αυτή η τιμή είναι πολύ κοντά στη συνιστώμενη δόση (18 kg Ν στρ.$^{-1}$) που προτείνεται από το μοντέλο του Διαγράμματος 1, λαμβάνοντας υπόψη ότι το Ν εφαρμόστηκε στο πείραμα αυτό σύμφωνα τις στάνταρτ διαδικασίες γεωργικής πρακτικής που ακολουθούνται στην Ελλάδα (η εφαρμογή Ν έγινε μόνο σε 2 δόσεις).

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Με τη συσχέτιση της ανάλυσης του νιτρικού-Ν στο έδαφος με το δείκτη επάρκειας Ν δίνεται η δυνατότητα για παράλειψη της εγκατάστασης μιας ζώνης μέσα τον αγρό που έχει λιπανθεί επαρκώς με Ν. Αυτή η δυνατότητα μπορεί να διευκολύνει την εφαρμογή της τηλεπισκόπισης στην πράξη καθιστώντας τη πιο εφικτή και αποτελεσματική.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τους: Γιώργο Στρίκο, Χαράλαμπο Τσότρα, Κατερίνα Οικονόμου και Ηρακλή Παλαβάτσιο για την τεχνική και αναλυτική βοήθεια που παρείχαν.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Περιοδικά

Clay, D.E., Prasad Kharel, T., Reese, C., Beck, D., Carlson, C.G., Clay A.S., Reicks, G., 2012. Winter wheat crop reflectance and nitrogen sufficiency index values are influenced by nitrogen and water stress. Agron. J., 104: 1612-1617.

Fox, R.H., Piekielek, W.P., Macneal, K.E., 2001. Comparison of late-season diagnostic tests for predicting nitrogen status of corn. Agron. J., 93: 590-597.

Karyotis, T., Panagopoulos, A., Alexiou, J., Kalfountzos, D., Pateras, D., Argyropoulos, G., Panoras, A., 2006. Nitrates pollution in a vulnerable zone of Greece. Commun. Biom. Crop Sci., 1: 72-78.

Magdoff, F.R., Jokela, W.E., Fox, R.H., Griffin, G.F. 1990. A soil test for nitrogen availability in the northeastern United States. Commun. Soil Sci. Plant Anal. J., 21: 1103-1115.

Varvel, G.E., Wilhelm, W.W., Shanahan, J.F., Schepers, J.S., 2007. An algorithm for corn nitrogen recommendations using a chlorophyll meter based sufficiency index. Agron. J., 99: 701-706.

Jones H. G., Vaughan R. A., 2010. Remote sensing of vegetation. Principles, techniques, and applications. Oxford University Press, Oxford, New York.

Diker, K., Bausch, W.C., 1998. Mapping in-season nitrogen variability assessed through remote sensing. Proceedings of IV International Conference on Precision Agriculture. 19-22 July. St. Paul, MN. ASA, CSSA, SSSA, Madison, Wisconsin. pp. 1445-1455.

ΩΣΜΩΤΙΚΗ ΚΑΙ ΥΔΑΤΙΚΗ ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΗ ΦΥΤΩΝ ΚΑΛΑΜΠΟΚΙΟΥ. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΙΣ.

Εμμανουήλ Λεκάκης, Παρθένα Παμπουκίδου, Βασίλειος Αντωνόπουλος
Τομέας Εγγείων Βελτιώσεων, Εδαφολογίας και Γεωργικής Μηχανικής
Γεωπονική Σχολή Α.Π.Θ., 54124 Θεσσαλονίκη

Στην εργασία μελετήθηκε η επίδραση της υδατικής και ωσμωτικής καταπόνησης με εφαρμογή αλατούχου και καθαρού αρδευτικού νερού στην απόδοση καλλιέργειας καλαμποκιού, αλλά και στην κατανομή της περιεχόμενης υγρασίας και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας στο έδαφος κατά τη διάρκεια μιας καλλιεργητικής περιόδου. Με το μοντέλο SALTMED έγινε η προσομοίωση της κατανομής της εδαφικής υγρασίας και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας στο εδαφικό προφίλ υπό άρδευση με υφάλμυρο και καθαρό νερό. Επίσης, μελετήθηκε η επίδραση υδατικής και ωσμωτικής καταπόνησης στην απόδοση του καλαμποκιού. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για την κατανομή της εδαφικής υγρασίας και της αλατότητας στο έδαφος ήταν επαρκώς ικανοποιητικά για όλη την καλλιεργητική περίοδο. Σύμφωνα με τις μετρημένες και υπολογισμένες τιμές, η άρδευση με υφάλμυρα νερά προκαλεί την αύξηση της αγωγιμότητας σε υψηλά επίπεδα, στα πρώτα 30 cm του εδάφους. Από τις μετρήσεις της απόδοσης προέκυψε ότι η υδατική καταπόνηση προκαλεί μεγαλύτερη μείωση στην απόδοση σε σχέση με την ωσμωτική καταπόνηση.

Λέξεις κλειδιά: υδατική καταπόνηση, ωσμωτική καταπόνηση, μειωμένη άρδευση, αλατούχο νερό, SALTMED

SALINITY DISTRIBUTION AND CORN YIELD ASSESSMENT IRRIGATED WITH SALINE AND NON SALINE WATER. EXPERIMENTAL MEASUREMENTS AND SIMULATIONS.

Emanuel Lekakis, Parthena Pampoukidou, Vassilis Antonopoulos
Department of Hydraulics, Soil Science and Agricultural Engineering,
School of Agriculture, Aristotle University, Thessaloniki 54124, Greece
elekakis@agro.auth.gr, ppampouk@agro.auth.gr, vasanton@agro.auth.gr

In this paper the effects of water and osmotic stress on corn yield, soil moisture and salinity distribution were studied during one growing season. SALTMED model was evaluated in the simulation of soil moisture and salinity distribution under irrigation with saline and non saline water. Furthermore, the effects of water and osmotic stress on corn yield were evaluated from measured values in field conditions. The results showed that the model describes adequately soil moisture and salt loading of soil. According to measured and computed values salt loading is mainly restricted in the top 30 cm of the soil profile. Measured corn yield indicated that the effects of water stress are more detrimental than the effects of osmotic stress.

Key words: water stress, osmotic stress, deficit irrigation, saline water, SALTMED

1. Εισαγωγή

Η ξηρασία και η αλατότητα είναι κατά μεγάλο μέρος υπεύθυνοι παράγοντες για τη μείωση των αποδόσεων των καλλιεργούμενων φυτών. Η εναλάτωση των καλλιεργήσιμων εδαφών επεκτείνεται ευρέως, εξαιτίας των αρδευτικών πρακτικών που ακολουθούνται υποβαθμίζοντας την ποιότητα των εδαφών, μειώνοντας έτσι την έκταση της παραγωγικής γης. Εκτιμάται ότι περίπου 6% των εδαφών ανά τον κόσμο και 50% της αρδευόμενης γης, από την οποία παράγονται το ένα τρίτο της τροφής του ανθρώπινου πληθυσμού, υποφέρουν από προβλήματα αλατότητας (Hillel, 2000). Η ξηρασία σε συνδυασμό με την αύξηση του πληθυσμού της γης αναμένεται να οδηγήσει σε υπερεκμετάλλευση των υδατικών πόρων για γεωργικούς σκοπούς. Από την άλλη μεριά, η εξάπλωση της εναλάτωσης των εδαφών προκαλεί μείωση της ανάπτυξης των φυτών και της δυναμικής των καλλιεργειών (Demiral et al., 2011). Τα τελευταία 25 χρόνια η ανάπτυξη των μαθηματικών μοντέλων έχει δημιουργήσει ένα πολύτιμο εργαλείο για την πρόβλεψη και πρόληψη των επιδράσεων των καλλιεργητικών επεμβάσεων στην απόδοση των φυτών και την ποιότητα του εδάφους και την κατάστρωση διαχειριστικών πρακτικών για την αντιμετώπισή τους. Ανάμεσα σε αυτές είναι και η άρδευση με επιβαρυμένα – αλατούχα νερά.

Στην εργασία γίνεται η επιβεβαίωση και επαλήθευση του μαθηματικού μοντέλου SALTMED, στην δυνατότητα προσομοίωσης της υγρασίας, της ηλεκτρικής αγωγιμότητας και της απόδοσης των φυτών σε συνθήκες καλλιέργειας καλαμποκιού υπό άρδευση με υφάλμυρο και καθαρό νερό.

2. Υλικά και Μέθοδοι

2.1 Πειραματικός σχεδιασμός

Τα απαραίτητα δεδομένα συγκεντρώθηκαν από πειραματικό αγρό του Αγροκτήματος του Α.Π.Θ., κατά την καλλιεργητική περίοδο 2011. Για τη μελέτη της συνδυασμένης επίδρασης ωσμωτικής και υδατικής καταπόνησης στα φυτά με εφαρμογή υφάλμυρου νερού και μειωμένων δόσεων αρδευτικού νερού, εγκαταστάθηκαν τέσσερις μεταχειρίσεις με καλλιέργεια καλαμποκιού. Το σχέδιο του πειράματος ήταν split plot, με δύο επίπεδα ηλεκτρικής αγωγιμότητας αρδευτικού νερού (EC_w =0.8 dSm^{-1} και 6.4 dSm^{-1}) ως κύριες ομάδες και δύο επίπεδα ύψους αρδευτικού νερού (100% και

40%) ως υποομάδες, με δύο επαναλήψεις. Αναλυτικά οι μεταχειρίσεις περιελάμβαναν:
άρδευση με νερό γεώτρησης ύψους 40 mm και EC=0.8 dSm^{-1} (AFI – μάρτυρας)
άρδευση με νερό γεώτρησης ύψους 24 mm και EC=0.8 dSm^{-1} (ADI – υδατική καταπόνηση)
άρδευση με υφάλμυρο νερό ύψους 40 mm και EC=6.4 dSm^{-1} (DFI – ωσμωτική καταπόνηση)
άρδευση με υφάλμυρο νερό ύψους 24 mm και EC=6.4 dSm^{-1} (DDI – υδατική και ωσμωτική καταπόνηση).

Η σπορά έγινε στις 20 Μαΐου με το υβρίδιο καλαμποκιού PR31G98 σε αποστάσεις μεταξύ των γραμμών 0.80 m και 0.16 m επί των γραμμών. Κατά τη βασική λίπανση εφαρμόστηκαν 11 kg N/στρέμμα. Η άρδευση πραγματοποιούνταν με εφαρμογή του νερού στη βάση των φυτών. Πραγματοποιήθηκαν 8 αρδεύσεις ανά επτά περίπου ημέρες. Αναχώματα περιμετρικά των μεταχειρίσεων απέτρεπαν την επιφανειακή απορροή. Η συγκέντρωση των κατιόντων στο υφάλμυρο νερό διατηρήθηκε σε αναλογία $Ca^{2+}/Mg^{2+}/Na^{+}$ =3/3/2, ίδια με του νερού γεώτρησης. Στις 04/10 πραγματοποιήθηκε η συγκομιδή.

Η βροχόπτωση για το διάστημα από τη σπορά έως τη συγκομιδή ανήλθε σε 90 mm. Η διάρκεια των τεσσάρων σταδίων ανάπτυξης της καλλιέργειας ορίστηκε σε 25/30/50/35 ημέρες. Ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας (LAI) των μεταχειρίσεων προσδιοριζόταν ανά 15 ημέρες με την καταστροφική μέθοδο και ο μέγιστος LAI προέκυψε ίσος προς 5.68, 5.33, 4.96 και 5.31 αντίστοιχα για τις μεταχειρίσεις AFI, ADI, DFI, DDI. Ο K_c για κάθε μεταχείριση προσδιορίστηκε από την εξίσωση που πρότειναν οι Kang et al. (2003), ως εξής:

$$K_c = \frac{0.382 + 3.692 \cdot LAI}{LAI + 12.561} \qquad LAI < 3$$
$$K_c = 1.10 + 0.095 \cdot LAI \qquad LAI \geq 3 \qquad (1)$$

Οι K_c των σταδίων ανάπτυξης για τις τέσσερις μεταχειρίσεις προέκυψαν ίσοι προς K_{cini} =0.322±0.073, K_{cmid} =1.594±0.045 και K_{cend} =0.319±0.076.

Οι αρχικές τιμές των φυσικών και χημικών ιδιοτήτων του εδάφους δίνονται στον Πίνακα 1.

Η υγρασία στις μεταχειρίσεις καταγραφόταν από αισθητήρες καταγραφής της εδαφικής υγρασίας, PR-2, (Delta-T Devices Ltd) πάνω στη γραμμή των φυτών. Τα βάθη καταγραφής ήταν 10, 20, 30, 40, 60 και 100 cm. Η σχέση βαθμονόμησης που συνδέει την υγρασία, θ_v (cm^3cm^{-3}) με τον αδιάστατο δείκτη διάθλασης της υγρασίας του εδάφους, $\varepsilon^{0.5}$, έχει ως εξής:

$$\theta_v = \left(\varepsilon^{0.5} - 1.778\right) / 9.1 \qquad (2)$$

Από παρατηρήσεις της μείωσης της υγρασίας στα βάθη μέτρησης των αισθητήρων εκτιμήθηκε το μέγιστο βάθος του ριζοστρώματος ίσο προς 0.75 m.

Οι παράμετροι της χαρακτηριστικής καμπύλης εκτιμήθηκαν λύνοντας αντίστροφο πρόβλημα με το πρόγραμμα HYDRUS 1-D v.4 (Šimůnek et al., 2008) από τις μετρήσεις της υγρασίας και δίνονται στον Πίνακα 1. Οι παράμετροι θ_r και θ_s είναι η υπολειμματική και η υγρασία κορεσμού αντίστοιχα, α, n και m (=1-1/n) είναι τρεις σταθερές προσαρμογής και K_s είναι η υδραυλική αγωγιμότητα κορεσμού.

Κατά την καλλιεργητική περίοδο λαμβάνονταν δείγματα εδάφους από κάθε μεταχείριση κάθε 7 ημέρες. Τα δείγματα ήταν αντιπροσωπευτικά των στρώσεων 0-20, 20-30, 30-40, 40-50 και 50-70 cm, για τον προσδιορισμό της υγρασίας εδάφους και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εκχυλίσματος κορεσμού (EC_e).

Πίνακας 1. Φυσικές και χημικές ιδιότητες του εδάφους

Παράμετρος	Εδαφική Στρώση cm							
	AFI - ADI				DFI - DDI			
	0-20	20-40	40-90	90-100	0-20	20-40	40-90	90-100
Κοκκομετρική Συστ.	SiCL	SiL	SiL	SL	SiCL	SiL	SiL	SL
p_b ($g \cdot cm^{-3}$)	1.45	1.31	1.14	1.63	1.38	1.47	1.12	1.63
EC ($dS \cdot m^{-1}$)	0.54	1.02	3.74	3.74	0.60	1.49	3.14	3.57
θ_s (cm^3cm^{-3})	0.52	0.57	0.59	0.50	0.51	0.51	0.59	0.50
θ_r (cm^3cm^{-3})	0.09	0.09	0.07	0.07	0.09	0.09	0.07	0.07
α	0.030	0.004	0.015	0.002	0.054	0.019	0.008	0.001
n	1.35	1.23	1.22	2.38	1.37	1.26	1.21	1.83
K_s ($cm \cdot h^{-1}$)	3.03	1.41	3.72	0.03	3.85	15.48	2.01	0.04

2.2 Περιγραφή του μαθηματικού μοντέλου SALTMED

Το μοντέλο SALTMED (Ragab, 2002) είναι ένα γενικό μοντέλο για την προσομοίωση της ανάπτυξης και απόδοσης των καλλιεργειών λαμβάνοντας υπόψη την ποσότητα και ποιότητα του νερού άρδευσης, το είδος και την ανθεκτικότητα της καλλιέργειας στα άλατα σε διάφορα στάδια ανάπτυξης, τις εδαφικές και κλιματικές συνθήκες. Το μοντέλο λαμβάνει υπόψη μονοδιάστατη και διδιάστατη ροή ανάλογα με το είδος άρδευσης, υδρολίπανση, παρουσία χαμηλής υπόγειας στάθμης και τον κύκλο του αζώτου. Το μοντέλο έχει επιβεβαιωθεί με επιτυχία στην προσομοίωση της εδαφικής υγρασίας, της αλατότητας του εδάφους και της απόδοσης των καλλιεργειών, σε συνθήκες αγρού, σε περιοχές με Μεσογειακό κλίμα. Ειδικότερα, έχει χρησιμοποιηθεί για την προσομοίωση της απόδοσης υπό συνθήκες υδατικής καταπόνησης (Pulvento et al., 2013; Καλφούντζος κ.α., 2009) αλλά και υπό άρδευση με υφάλμυρα νερά χαμηλής ποιότητας (Hirich et al., 2012; Plauborg et al., 2010).

Η εξατμισοδιαπνοή υπολογίζεται με την τροποποιημένη εξίσωση Penman-Monteith κατά FAO-

56 (Allen et al., 1998). Η εξατμισοδιαπνοή καλλιέργειας, ET_c, υπολογίζεται ως εξής:

$$ET_c = ET_o\left(K_{cb} + K_e\right) \quad (3)$$

όπου ο K_{cb} είναι ο συντελεστής διαπνοής της καλλιέργειας και K_e είναι ο συντελεστής εξάτμισης από το έδαφος (Georgiou et al., 2010). Η πρόσληψη του νερού από τα φυτά υπολογίζεται με την προσέγγιση των Cardon and Letey (1992), ως εξής:

$$S(z,t) = \frac{S_{max}(t)}{1+\left(\frac{\alpha h + h_0}{h_{o50}}\right)^3} \cdot \lambda(z,t) \quad (4)$$

όπου $S_{max}(t)$ είναι η μέγιστη πρόσληψη του νερού από τις ρίζες, z είναι το κατακόρυφο βάθος, λ(z,t) είναι η κατανομή της μάζας των ριζών, h είναι το ύψος πίεσης του εδαφικού νερού, h_{50} είναι το ύψος πίεσης στο οποίο μειώνεται η πρόσληψη του νερού κατά 50%, h_o είναι η οσμωτική πίεση, h_{o50} είναι η οσμωτική πίεση στην οποία μειώνεται η πρόσληψη του νερού κατά 50% και α είναι ένας συντελεστής βαρύτητας που εκφράζει την απόκριση της καλλιέργειας στην υδατική και ωσμωτική καταπόνηση και ισούται με το λόγο του h_{o50} προς το h_{50}. Η μέγιστη πρόσληψη του νερού υπολογίζεται από τον τύπο:

$$S_{max}(t) = ET_o(t) \cdot K_{cb}(t) \quad (5)$$

Το βάθος του ριζοστρώματος στο μαθηματικό μοντέλο ακολουθεί τη διακύμανση του φυτικού συντελεστή K_c.

Η σχετική απόδοση της καλλιέργειας, RY, εκτιμάται από το κλάσμα της αθροιστικής πραγματικής πρόσληψης νερού προς την αθροιστική δυνητική πρόσληψη νερού (συνθήκες χωρίς καταπόνηση) καθ' όλη τη βλαστική περίοδο, ως εξής:

$$RY = \sum S(x,z,t) / \sum S_{max}(x,z,t) \quad (6)$$

Η πραγματική απόδοση, AY, εκτιμάται από την εξίσωση:

$$AY = RY \cdot Y_{max} \quad (7)$$

όπου Y_{max} είναι η μέγιστη απόδοση της καλλιέργειας στην υπό μελέτη περιοχή υπό συνθήκες χωρίς καταπόνηση.

Στο μοντέλο, η μονοδιάστατη, κατακόρυφη κίνηση του νερού σε μεταβαλλόμενο βαθμό κορεσμού του πορώδους μέσου, περιγράφεται από τη διαφορική εξίσωση του Richards, που έχει ως εξής:

$$\frac{\partial\theta}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial z}\left[K(\theta)\left(\frac{\partial h + z}{\partial z}\right)\right] - S_w \quad (8)$$

όπου h είναι το ύψος πίεσης του εδαφικού νερού, K(θ) η ακόρεστη υδραυλική αγωγιμότητα, θ είναι η εδαφική υγρασία, z είναι η απόσταση στην κατακόρυφη διεύθυνση, t είναι ο χρόνος και S_w είναι ο όρος της πρόσληψης του νερού από τα φυτά. Η μονοδιάστατη εξίσωση μεταφοράς μιας συντηρητικής ουσίας στο έδαφος περιγράφεται ως εξής:

$$\frac{\partial(\theta c)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z}\left(D_a \frac{\partial c}{\partial z}\right) - \frac{\partial(qc)}{\partial z} - S_s \quad (9)$$

όπου c είναι η συγκέντρωση της ουσίας στο εδαφικό διάλυμα, q είναι η ταχύτητα Darcy, D_a είναι ο συντελεστής υδροδυναμικής διασποράς και S_s είναι ο όρος της πρόσληψης – προσρόφησης της ουσίας από τα φυτά. Οι διαφορικές εξισώσεις της κίνησης του νερού και της μεταφοράς των ουσιών επιλύονται αριθμητικά με τη μέθοδο των πεπερασμένων διαφορών. Η επίλυση της εξίσωσης κίνησης του νερού απαιτεί τον προσδιορισμό των συναρτησιακών σχέσεων της εδαφικής υγρασίας θ(h) και της υδραυλικής αγωγιμότητας K(h). Στο μοντέλο SALTMED, η χαρακτηριστική καμπύλη (σχέση υγρασίας-ύψους πίεσης) περιγράφεται από την εξίσωση του van Genuchten (1980) και η υδραυλική αγωγιμότητα (σχέση υδραυλικής αγωγιμότητας-ύψους πίεσης) από τη συνδυαστική συνάρτηση των Mualem - van Genuchten (van Genuchten, 1980).

Δεδομένα εισόδου του μοντέλου αποτελούν η ημερομηνία, το βάθος άρδευσης, η διάρκεια των αρδεύσεων και η EC του αρδευτικού νερού.

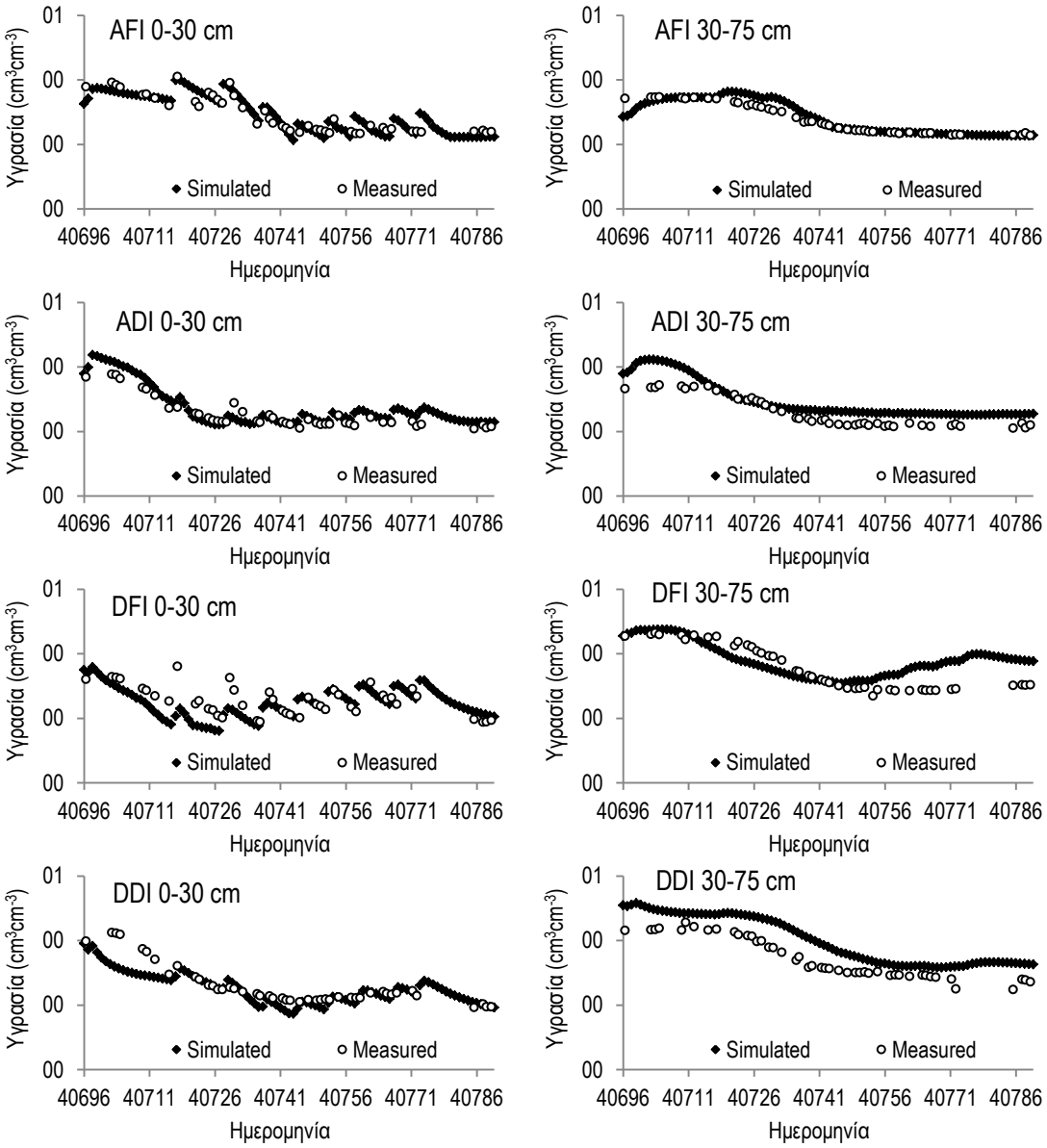
3. Αποτελέσματα

Η σύγκριση των τιμών της εδαφικής υγρασίας όπως καταγράφηκαν από τον αισθητήρα PR2, πάνω στη γραμμή των φυτών, με την υπολογισμένη υγρασία από το μοντέλο SALTMED παρουσιάζεται γραφικά για όλη τη βλαστική περίοδο στο Σχήμα 1, για τις τέσσερις μεταχειρίσεις. Η στρώση 0-30 cm προέκυψε ως μέσος όρος των βαθών 10, 20 και 30 cm, ενώ η στρώση 30-75 cm ως μέσος όρος των βαθών 40 και 60 cm. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης της υγρασίας είναι ιδιαίτερα ικανοποιητικά τόσο για την επιφανειακή όσο και την υποκείμενη στρώση μέχρι το βάθος του ριζοστρώματος. Οι περίοδοι ξήρανσης και ύγρανσης του εδάφους, λόγω των αρδεύσεων και της εξατμισοδιαπνοής αντικατοπτρίζονται στην υγρασία της επιφανειακής στρώσης, ενώ στη στρώση 30-75 cm παρατηρείται μείωση της υγρασίας κυρίως εξαιτίας της διείσδυσης του ριζικού συστήματος και πρόσληψης νερού από βαθύτερες εδαφικές στρώσεις την περίοδο της έντονης ανάπτυξης. Οι πλήρεις δόσεις άρδευσης (40 mm) μπορούν να χαρακτηρισθούν ως συντηρητικές καθώς καλύπτουν μόνο το 48% της εξατμισοδιαπνοής, ενώ οι μειωμένες δόσεις το 37%, συμπεριλαμβανομένης της βροχόπτωσης, όπως υπολογίστηκε από το μοντέλο.

Στο Σχήμα 2 παρουσιάζεται η υπολογισμένη ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδαφικού διαλύματος (EC_w) από το μοντέλο SALTMED και η εκτιμημένη EC_w όπως υπολογίστηκε από την EC_e. Σύμφωνα με την προσέγγιση του U.S. Salinity Laboratory Staff (1954) η συγκέντρωση των διαλυτών αλάτων στο εκχύλισμα κορεσμού έχει την τάση να είναι η μισή της συγκέντρωσης στο εδαφικό διάλυμα στο ανώτερο όριο της εδαφικής υγρασίας και το ένα τέταρτο αυτής, στο κατώτερο όριο της εδαφικής υγρασίας - ξηρό έδαφος. Έτσι, για την εκτίμηση της EC_w από την ECe χρησιμοποιήθηκε η παρακάτω προσέγγιση:

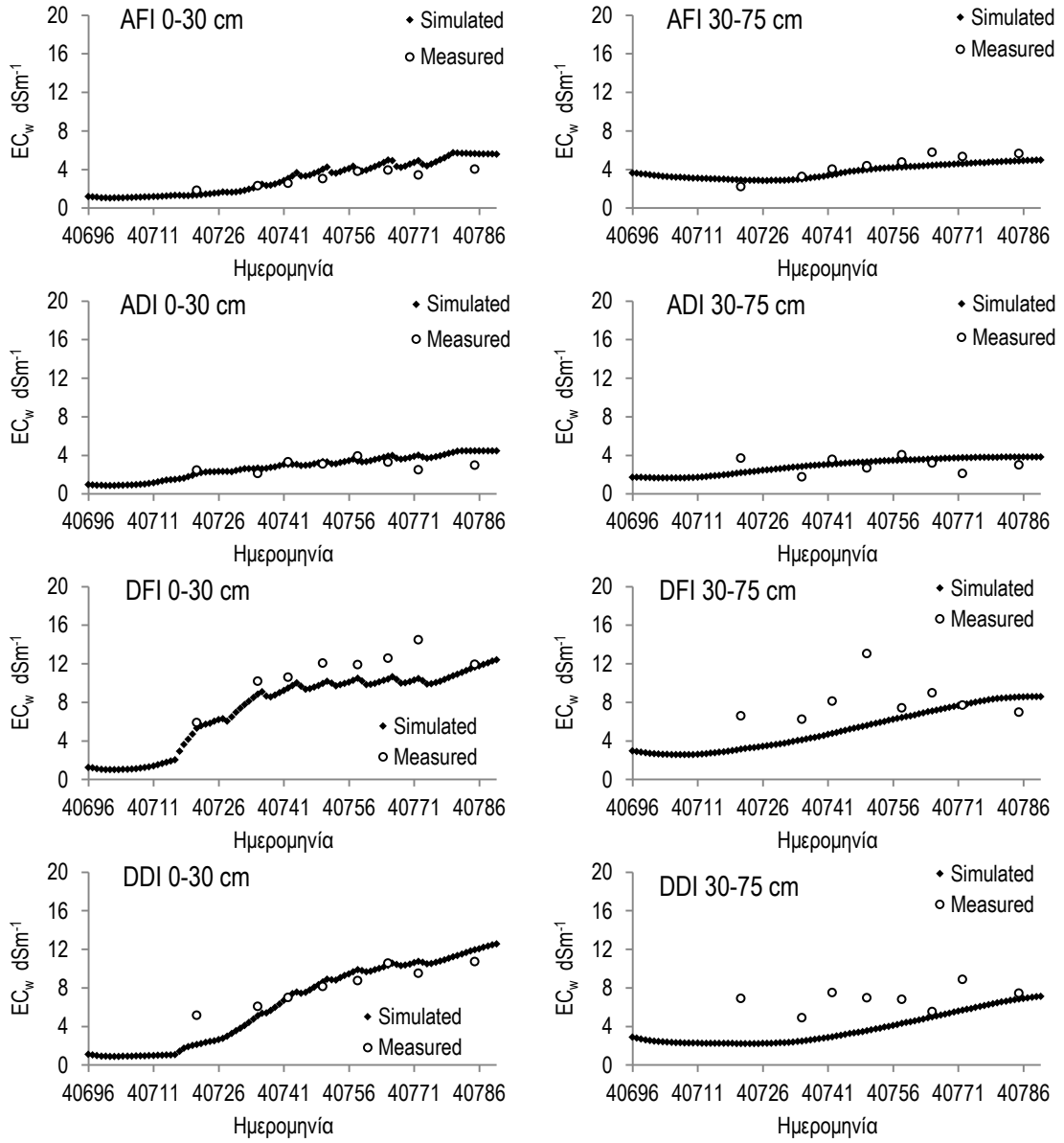
$$EC_w = 2 \cdot EC_e \text{ για } \theta_{sat} \geq \theta \geq \theta_{fc}$$
$$EC_w = 3 \cdot EC_e \text{ για } \theta_{fc} > \theta \geq \theta_{pwp} \quad (10)$$
$$EC_w = 4 \cdot EC_e \text{ για } \theta < \theta_{pwp}$$

όπου θ_{sat} είναι η υγρασία κορεσμού, θ_{fc} είναι η υγρασία στην υδατοϊκανότητα και θ_{pwp} είναι η υγρασία στο σημείο μόνιμης μάρανσης. Οι Αντωνόπουλος κ.α. (2008) και οι Λεκάκης κ.α. (2012) αναφέρουν ότι η EC_w είναι διπλάσια έως τριπλάσια της EC_e.



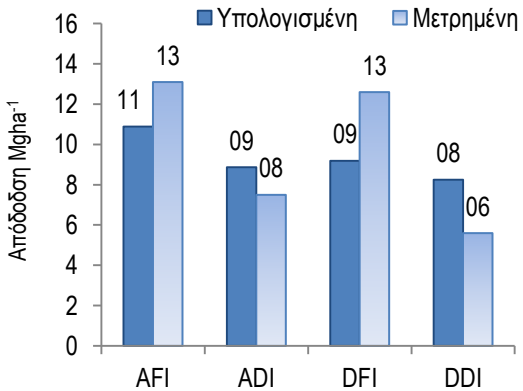
Σχήμα 1. Γραφική αναπαράσταση υπολογισμένων και μετρημένων τιμών υγρασίας κατά τη βλαστική περίοδο

Από το Σχήμα 2 προκύπτει ότι το μοντέλο περιγράφει αρκετά ικανοποιητικά την EC_w του εδάφους και όπως ήταν αναμενόμενο η ηλεκτρική αγωγιμότητα αυξάνει σημαντικά στις μεταχειρίσεις που αρδεύονται με υφάλμυρο νερό. Παρατηρείται ότι η EC_w παραμένει σταθερά υψηλή στη στρώση εδάφους 30-75 cm, χωρίς ιδιαίτερες διακυμάνσεις, σε όλες τις μεταχειρίσεις, καθώς και η αρχική τιμή είναι υψηλή σε αυτό το βάθος, γεγονός που σημαίνει ότι δεν υπάρχει βαθειά διήθηση του νερού κάτω από τα 30 cm του εδάφους και κατ' επέκταση μεταφορά αλάτων. Το παραπάνω επιβεβαιώνεται και από το Σχήμα 1, όπου είναι φανερό πως η υγρασία στη στρώση 30-75 cm μειώνεται ως αποτέλεσμα της πρόσληψης του νερού από τις ρίζες και δεν αναπληρώνεται από το νερό των αρδεύσεων. Η εξάτμιση και η διαπνοή κατά την περίοδο έντονης πρόσληψης και υψηλών θερμοκρασιών έχουν ως αποτέλεσμα την εξάντληση της υγρασίας από το επιφανειακό έδαφος και την αύξηση του φορτίου των αλάτων, ως αποτέλεσμα της συμπύκνωσής τους, στα πρώτα 30 cm του εδάφους όπου εντοπίζεται η μεγαλύτερη μάζα του ριζικού συστήματος.



Σχήμα 2. Γραφική αναπαράσταση υπολογισμένων και μετρημένων τιμών ηλεκτρικής αγωγιμότητας κατά τη βλαστική περίοδο

Οι υπολογισμένες τιμές της απόδοσης του καλαμποκιού δεν περιγράφουν ικανοποιητικά τις μετρημένες τιμές όπως φαίνεται και από το Σχήμα 3. Η μέγιστη απόδοση καλαμποκιού που έχει παρατηρηθεί για το υβρίδιο αυτό στην περιοχή είναι 16.9 Mgha^{-1} (Lekakis et al., 2011). Με αφετηρία την μέγιστη αυτή απόδοση, το μοντέλο υπολόγισε τις αποδόσεις της κάθε μεταχείρισης. Είναι χαρακτηριστικό ότι η μετρημένη απόδοση της DFI μεταχείρισης δεν διαφοροποιείται ιδιαίτερα από αυτή του μάρτυρα. Αντίθετα, μεγάλη διαφορά παρουσιάζεται στην μετρημένη απόδοση των μεταχειρίσεων υπό υδατική καταπόνηση (ADI, DDI) σε σχέση με τις μεταχειρίσεις που λάμβαναν πλήρεις αρδευτικές δόσεις (AFI, DFI). Σύμφωνα με το παραπάνω, προκύπτει ότι η υδατική καταπόνηση προκαλεί μεγαλύτερη μείωση στην απόδοση σε σχέση με την ωσμωτική καταπόνηση.



Σχήμα 3. Μετρημένη και υπολογισμένη απόδοση

Οι Letey et al. (1985) και οι Russo and Bakker (1987) αναφέρουν ότι αυξημένες ποσότητες νερού αντισταθμίζουν κατά ένα μέρος μόνο την επίδραση της αλατότητας. Συνεπώς, σε περίπτωση όπου δεν υπάρχει διαθεσιμότητα νερού, νερό χαμηλής ποιότητας μπορεί

να χρησιμοποιηθεί χωρίς το φόβο περαιτέρω μείωσης της παραγωγής (Shani and Dudley, 2001).

4. Συμπεράσματα

Από τη βαθμονόμηση του μοντέλου με τα δεδομένα από τις συνθήκες αγρού προκύπτει ότι το μοντέλο SALTMED μπορεί να περιγράψει με ιδιαίτερη επιτυχία τη διακύμανση της εδαφικής υγρασίας και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας στο έδαφος καλλιέργειας καλαμποκιού υπό άρδευση με υφάλμυρα νερά υψηλής αγωγιμότητας. Η προσομοίωση της απόδοσης, ωστόσο, δεν ήταν ικανοποιητική με σημαντικές διαφορές μεταξύ μετρημένων και υπολογισμένων τιμών, πιθανόν ως αποτέλεσμα της χημικής σύστασης του υφάλμυρου αρδευτικού νερού και των ευαίσθητων σταδίων και χαρακτηριστικών του υπό μελέτη υβριδίου καλαμποκιού. Από τις μετρήσεις της απόδοσης του καλαμποκιού προκύπτει ότι η υδατική καταπόνηση προκαλεί μεγαλύτερη μείωση στην απόδοση σε σχέση με την ωσμωτική καταπόνηση.

Βιβλιογραφία

Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M., 1998. Crop Evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper No 56, FAO, Rome, 290 p.

Αντωνόπουλος, Β.Ζ., Rahil, M., Καραμούζης, Δ.Ν., Παπαμιχαήλ, Δ.Μ., 2008. Επίδραση της εδαφικής υγρασίας και της αλατότητας στην πρόσληψη του νερού από τα φυτά ηλιάνθου σε συνθήκες αγρού. Γεωτεχνικά Επιστημονικά Θέματα, 19(1):16-26

Cardon, E.G., Letey, J., 1992. Plant water uptake terms evaluated for soil water and solute movement models. Soil Sci. Soc. Am. J., 56:1876-1880

Demiral, T., Turkan, I., Sekmen, H., 2011. Signaling strategies during drought and salinity, recent news. In: I. Turkan, (Editor), Plant Responses to Drought and Salinity Stress. Developments in a post-genomic era. Advances in Botanical Research, Vol 57. Academic Press, Elsevier. pp. 294-307

Georgiou, P.E., Antonopoulos, V.Z., Lekakis, E.H., 2010. Soil water balance and distribution in a field of maize under partial root-zone drying drip irrigation. e-Proceedings of the International Conference PRE10 Protection and Restoration of the Environment X, Corfu, Greece, p. 8

Hillel, D., 2000. Salinity Management for Sustainable Irrigation. The World Bank, Washington, D.C

Hirich, A., Choukr-Allah, R., Ragab, R., Jacobsen, S.-E., El youssfi, L., El omari, H., 2012. The SALTMED model calibration and validation using field data from Morocco. J. Mater. & Environ. Sc., 3(2):342-359

Καλφούντζος, Δ., Ragab, R., Βύρλας, Π., Καλφούντζος, Π., Πατέρας, Δ., 2009. Βαθμονόμηση του μοντέλου SALTMED για καλλιέργεια βαμβακιού με σύστημα στάγδην άρδευσης. Πρακτικά 6ου Εθνικού Συνεδρίου Εταιρείας Γεωργικών Μηχανικών Ελλάδος, σελ.:43-50, 8-11 Οκτωβρίου 2009, Θεσσαλονίκη.

Kang, S.Z., Gu, B.J., Du, T.S., Zhang, J.H., 2003. Crop coefficient and ratio of transpiration to evapotranspiration of winter wheat and maize in a semi-humid region. Agric. Wat. Manag., 59: 239–254

Lekakis, E.H., Georgiou, P.E., Pavlatou-Ve, A., Antonopoulos, V.Z., 2011. Effects of fixed partial root-zone drying irrigation and soil texture on water and solute dynamics in calcareous soils and corn yield. Agric. Wat. Manag., 101(1):71-80

Λεκάκης Ε., Παυλάτου Βε Α., Παπαδόπουλος Α., Αντωνόπουλος Β., Ψωμά Π., Μπούντλα Α., Πετρίδου Ν., Κουκούλη Σ., 2012. Συσχέτιση ποιοτικών παραμέτρων εδαφικού διαλύματος μικρολυσίμετρων κενού (suction cups) με το εκχύλισμα κορεσμού σε κατακλυσμένο ορυζώνα. Πρακτικά 14ου Πανελληνίου Εδαφολογικού Συνεδρίου. 1-2 Νοεμβρίου 2012, Θεσσαλονίκη. Υπό δημοσίευση.

Letey, J., Dinar, A., Knapp, K.C., 1985. Crop-water production function model for saline irrigation waters. Soil Sci. Soc. Am. J., 49:1005-1009

Plauborg, F., Andersen, M.N., Liu, F.L., Ensink, J.H.J., Ragab, R., 2010. Safe and high quality food production using low quality waters and improved irrigation systems and management: SAFIR. Agric. Wat. Manag., 98(3):377-384

Pulvento, C., Riccardi, M., Lavini, A., D'andria, R., Ragab, R., 2013. SALTMED model to simulate yield and dry matter for quinoa crop and soil moisture content under different irrigation strategies in south Italy. Irrig. & Drain., 62(2):229–238

Ragab, R., 2002. A holistic generic integrated approach for irrigation, crop and field management: the SALTMED model. Environ. Model. & Softw., 17:345–361

Russo, D., Bakker, D., 1987. Crop-water production functions for sweet corn and cotton irrigated with saline waters. Soil Sci. Soc. Am. J., 51:1554–1562

Shani, U., Dudley, L.M., 2001. Field studies of crop response to water and salt stress. Soil Sci. Soc. Am. J., 65: 1522-1528

Šimůnek, J., Šejna, M., Saito, H., Sakai, M., van Genuchten, M. Th., 2008. The HYDRUS-1D software package for simulating the movement of water, heat, and multiple solutes in variably saturated media, Version 4.0, HYDRUS Software Series 3, Department of Environmental Sciences, University of California Riverside, Riverside, California, USA, 315 pp.

U.S. Salinity Laboratory Staff, 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. U.S.D.A., Agricultural Handbook No. 60. Washington: US Government Printer, 166 p.

van Genuchten, M.Th., 1980. A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. Soil Sci. Soc. Am. J., 44:892-898.

ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ ΚΑΟΛΙΝΙΤΗ ΑΠΟ ΤΗΝ ΜΗΛΟ, ΛΗΜΝΟ ΚΑΙ ΚΩ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΟΥΣ ΜΕ ΔΕΙΓΜΑ ΚΑΟΛΙΝΙΤΗ ΤΗΝ GEORGIA, Η.Π.Α.

Προδρόμου Π. Κωνσταντίνος
Εργαστήριο Εφαρμοσμένης Εδαφολογίας, Γεωπονική Σχολή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης
54124, Θεσσαλονίκη

Στην εργασία αυτή μελετήθηκαν συγκριτικά οι ιδιότητες δειγμάτων καολινίτη που προέρχονται από τα ορυχεία της Μήλου και από περιοχές των νήσων Λήμνου και Κω, με δείγμα καολινίτη που προέρχεται από την Georgia των ΗΠΑ. Προσδιορίστηκε η ολική εναλλακτική ικανότητα (CEC) των υλικών.
Διαπιστώθηκε ότι, ενώ η CEC του δείγματος της Georgia ήταν 7,13 meq/100 g, στα δείγματα του καολινίτη των τριών Ελληνικών νησιών ήταν από 2,95 έως 1,22 meq/100g. Αυτό οφείλεται στη μικρή περιεκτικότητα σε καολινίτη των δειγμάτων και στις προσμίξεις που περιέχονται σ΄ αυτά. Επειδή στον καολινίτη η προσρόφηση και η εναλλαγή των κατιόντων γίνεται στις θραυσιγενείς επιφάνειές του, τα δείγματα του ορυκτού λειοτριβήθηκαν σε μέγεθος μικρότερο από 500 μ και διαπιστώθηκε η αύξηση της ολικής τους εναλλακτικής ικανότητας.
Ο βαθμός καθαρότητας των δειγμάτων επηρεάζει τις φυσικοχημικές τους ιδιότητες. Τα δείγματα που ελήφθησαν, συνοδεύονται από προσμίξεις πρωτογενών ορυκτών, κυρίως πλαγιόκλαστα και φεμικά ορυκτά. Η κατάταξη των δειγμάτων ως προς την καθαρότητά τους είναι: Georgia 95%, Κως 44%, Μήλος 31% και Λήμνος 11%.
Τα δείγματα υπέστησαν διαλυτοποίηση με 6N HCl και 4N KOH. Στην περίπτωση του οξέος, οι διάφοροι χρόνοι επίδρασής του (από 6 έως 96 ώρες) δεν επηρέασαν την παραλαβή των κατιόντων.
Στην περίπτωση της βάσεως, η μεγαλύτερη εκχύλιση αργιλίου παρουσιάστηκε στο δείγμα της Georgia, λόγω της κατεργασίας που υπέστη το ορυκτό από την εταιρεία διάθεσής του, κατάσταση αναφούς κόνεως, με αποτέλεσμα την προσβολή του στο αλκαλικό περιβάλλον.
Από τη σύγκριση των δειγμάτων προκύπτει ότι ο καολινίτης της Μήλου μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ερευνητικούς σκοπούς λόγω της καθαρότητάς του.

Λέξεις κλειδιά: Κως, Λήμνος, Μήλος, Georgia, καολινίτης, CEC.

STUDY OF PROPERTIES OF KAOLINITE SAMPLES FROM ISLANDS MILOS, LIMNOS AND KOS AND THEIR COMPARISON WITH KAOLINITE FROM U.S.A.

Prodromou P. Konstantinos
Aristotelian University of Thessaloniki, Lab. of Applied Soil Science, 54124, Thessaloniki, Greece.

In this study, samples of kaolinite from Kos, Limnos, and Milos, were compared to kaolinite from Georgia, USA. The total exchange capacity of the materials was determined. Because in kaolinite, the adsorption and the cations exchange take place to the sites on the edges, the samples used were sieved to < 500 μ and it was observed an increase of CEC value.
The degree of purity of the samples influences their physical and chemical properties. The samples used contain plagioclase and ferrous minerals. Samples classification according to their purity is: Georgia 95%, Kos 44%, Milos 31% and Limnos 11%.
The samples of kaolinite were treated in 6N HCl at 95 ^{o}C for a period of 6 to 96 hours and 4N KOH at 80 ^{o}C for 24 hours. In the case of HCl the different times of treatment did not influence cations dissolution. In the case of the alkali, more Al was dissolved in Georgia sample because of the mineral's fine size (due to the treatment from the Wards Natural Science Establishment, Inc) which resulted in being attacked from the alkaline pH.
From the comparison of the samples it is concluded that Milos kaolinite can be used for research purposes because of its purity.

Key words: Kos, Limnos, Milos, Georgia, kaolinite, CEC.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο καολινίτης οφείλει το όνομά του στο λόφο Kauling (ψηλή κορυφή) της Κίνας. Είναι ορυκτό δομής 1:1. Ο χημικός του τύπος είναι $(OH)_4Al_2Si_2O_5$. Κρυσταλλούται στο τρικλινές σύστημα και σχηματίζει συμπαγή ή εύθρυπτα συσσωματώματα. Η σκληρότητά του είναι 2 – 2,5 και το ειδικό του βάρος 2,6 g/cm^3. Όταν είναι καλά κρυσταλλωμένο, η λάμψη του είναι μαργαριτώδης, ενώ είναι αλαμπές όταν βρίσκεται υπό μορφή συσσωματωμάτων.

Το χρώμα του είναι λευκό ενώ γίνεται υποκίτρινο, καστανό, τεφρό ή κοκκινωπό όταν φέρει προσμίξεις. Σχισμός τέλειος κατά (001) (Σαπουντζής-Χριστοφίδης, 1982).
Η χημική του ανάλυση έδωσε, SiO_2 46,50%, Al_2O_3 39,50%, H_2O 14%.
Είναι δευτερογενές ορυκτό, συστατικό της αργίλου που σχηματίζεται ως προϊόν αλλοίωσης αργιλοπυριτικών ορυκτών, κυρίως αστρίων κατά τη

χημική αποσάθρωση γρανιτικών πετρωμάτων ή με υδροθερμική δραστηριότητα, καολινίωση των αστρίων.

Σχηματίζεται κατά την πορεία της εδαφογένεσης τόσο από πρωτογενή όσο και από δευτερογενή ορυκτά. Κατά τη χημική αποσάθρωση του ορθόκλαστου έχουμε,

$2KAlSi_3O_8 + 11H_2O \rightarrow (OH)_4Al_2Si_2O_5 + 4H_4SiO_4 + 2KOH$

Στο πλέγμα του δεν παρατηρείται ισόμορφη υποκατάσταση τόσο στα τετράεδρα του πυριτίου από ιόντα αργιλίου, όσο και στα οκτάεδρα του αργιλίου από δισθενή κατιόντα με αποτέλεσμα να μην υπάρχουν ελεύθερα φορτία για την ενδοκρυσταλλική συγκράτηση κατιόντων.

Οι δομικές μονάδες συγκρατούνται μεταξύ τους με ισχυρούς υδρογονικούς δεσμούς, εξ ΄αιτίας των οποίων δεν παρατηρείται το φαινόμενο της διόγκωσης του πλέγματος. Ο ενδοκρυσταλλικός χώρος είναι κατά πολύ μικρότερος (2,8 Å) από τη διάμετρο των ενυδατωμένων κατιόντων, τα οποία δεν μπορούν να προσροφηθούν ενδοκρυσταλλικώς.

Η εναλλακτική του ικανότητα είναι πολύ μικρή, 3 – 7 me / 100 g. Η προσρόφηση και η εναλλαγή κατιόντων γίνεται στην επιφάνεια του κρυσταλλικού πλέγματος, στις θραυσιγενείς επιφάνειες και όχι στον ενδοκρυσταλλικό του χώρο. Κονιοποίηση του ορυκτού έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της τιμής της CEC.

Η ταυτοποίησή του με τις ακτίνες Röntgen γίνεται με βάση τη χαρακτηριστική του ανάκλαση στα 7 Å (Dixon, 1989).

Όταν στον ενδοστοιβαδικό χώρο του καολινίτη, έχουμε συγκράτηση H_2O με υδρογονικούς δεσμούς σχηματίζεται ο *αλλοϋσίτης*. $(OH)_4Al_2Si_2O_5.n(H_2O)$. Δίνει χαρακτηριστική ανάκλαση στην περιοχή των 10,10 έως 10,25 Å. Ο αλλοϋσίτης σχηματίζεται είτε από την ενυδάτωση του καολινίτη, είτε από την κρυστάλλωση των αλλοφανών.

Αλλοϋσίτης που έχει χάσει το μισό της ποσότητας του ενδοκρυσταλλικού του H_2O, μετατρέπεται σε *μετα-αλλοϋσίτη*.

Το 1912, μελετώντας τη φύση των ακτίνων Χ άρχισαν να χρησιμοποιούν το κρυσταλλικό πλέγμα των ορυκτών ως περιθλαστικά φράγματα. Στη συνέχεια τις χρησιμοποίησαν για την ταυτοποίησή των ορυκτών, διαπίστωσαν όμως ότι η ύπαρξη οξειδίων του αργιλίου και του σιδήρου στις επιφάνειες των ορυκτών υπό μορφή επικαλύψεων, παρεμπόδιζε τη λήψη ευκρινών διαγραμμάτων περιθλάσεως. Έτσι, άρχισαν προσπάθειες απομάκρυνσής τους από τα ορυκτά και τα ορυκτά της αργίλου και η μελέτη της φύσης τους και η επίδραση στις ιδιότητες του εδάφους. Οι προσπάθειες αυτές ξεκίνησαν από το 1922, μέθοδος του Tann που πρότεινε τη χρήση οξαλικού οξέος – οξαλικού αμμωνίου και συνεχίζονται μέχρι και σήμερα. Το πρόβλημα που υπάρχει είναι ότι ανάλογα με τη χρήση των διαφόρων αντιδραστηρίων απομακρύνονται τα άμορφα συστατικά που συνοδεύουν τα ορυκτά ή προσβάλλεται και το πλέγμα του υπό εξέταση ορυκτού. Οι διάφορες αυτές μέθοδοι αξιολογούνται και είναι γνωστές ως μέθοδοι εκλεκτικής διαλυτοποίησης, (selective dissolution) (Προδρόμου, 1989).

Παράλληλα με τις μεθόδους της εκλεκτικής διαλυτοποίησης, άρχισαν να προτείνονται μέθοδοι (1930) για την πλήρη διαλυτοποίηση των ορυκτών των πετρωμάτων και του εδάφους για την ολική τους ανάλυση. Οι μέθοδοι αυτές χρησιμοποιούν οξέα HCl, HNO_3, H_2SO_4, H_3PO_4 ή μίγματά τους, αλκάλεα, NaOH, KOH ή παρόμοια αντιδραστήρια με την εκλεκτική διαλυτοποίηση, Na_2CO_3.

Πλεονέκτημα μιας μεθόδου για την επιλογή της είναι οι λιγότερες παρεμποδίσεις στον προσδιορισμό των στοιχείων, ο χρόνος που απαιτείται για τη διαλυτοποίηση και ο μικρός όγκος του οξέος που χρησιμοποιείται.

Το πρώτο βήμα της προσβολής των οξέων στα ορυκτά της αργίλου, είναι η αντικατάσταση των εναλλακτικών κατιόντων του K^+, Na^+, Ca^{2+}και του Mg^{2+} με H^+ των οξέων, το οποίο στη συνέχεια εισχωρεί στον ενδοστιβαδικό χώρο και προσβάλει τους υδροξυλιακούς δεσμούς, OH, προκαλώντας την διαλυτοποίηση του Al^{3+}, Fe^{2+} και Mg^{2+}των οκταέδρων. Το τελικό προϊόν της προσβολής είναι η δημιουργία άμορφου πυριτίου.

Η υποκατάσταση του Si και του Al στο πλέγμα του καολινίτη, είναι δυσκολότερη σε σχέση με τους σμεκτίτες με αποτέλεσμα τη βραδύτερη διαλυτοποίησή του από τα οξέα. Διαπιστώθηκε επίσης ότι η ανάδευση και η ταχύτητά της επηρεάζουν τη διαλυτοποίηση του ορυκτού (Pentra'k et al., 2009).

Τα δείγματα του καολινίτη που χρησιμοποιήθηκαν προέρχονται από τα νησιά Κως, Μήλος και Λήμνος.

Η **Κως**, το νησί του Ιπποκράτη, είναι το τρίτο σε μέγεθος νησί των Δωδεκανήσων.

Τ0 δείγμα της Κω προέρχεται από την περιοχή Κέφαλος. Το ακρωτήριο Κέφαλος βρίσκεται στο δυτικό άκρο του νησιού. Σύμφωνα με το Γεωλογικό χάρτη, στην περιοχή επικρατούν ηφαιστειακοί τόφφοι - ηφαιστειακός πυροκλαστικός σχηματισμός, ρυολιθικής σύστασης, με πλαγιόκλατα, κυρίως ανορθίτη, ορθόκλαστο, βιοτίτη και χαλαζία, προϊόντα της πιο πρόσφατης έκρηξης.

Η **Λήμνος** φέρει το όνομα αυτό από την εποχή του Ομήρου. Λόγω των ηφαιστείων που υπήρχαν κατά την προϊστορική περίοδο σχετίστηκε με τον θεό Ήφαιστο.

Τα πετρώματα της είναι ηφαιστειακής προέλευσης κατά 15% ή ιζηματογενή πάνω από 60%.

Είναι πέμπτο σε μέγεθος μεταξύ των Ελληνικών νησιών και βρίσκεται στο βορειοανατολικό Αιγαίο, απέναντι από την είσοδο του Ελλήσποντου.

Τα ορυκτά της αργίλου, η *άργιλος*, συνδέθηκε με την ζωή και την οικονομία του νησιού από αρχαιοτάτων χρόνων. Χρησιμοποιήθηκε εκτός από την κατασκευή αγγείων και για θεραπευτικούς λόγους με την χαρακτηριστική ονομασία Λημνία γη, από την εποχή του Ηρόδοτου έως τον Μεσαίωνα.

Τα δείγματα του καολινίτη προέρχονται από το νότιο - νοτιοδυτικό τμήμα του νησιού.

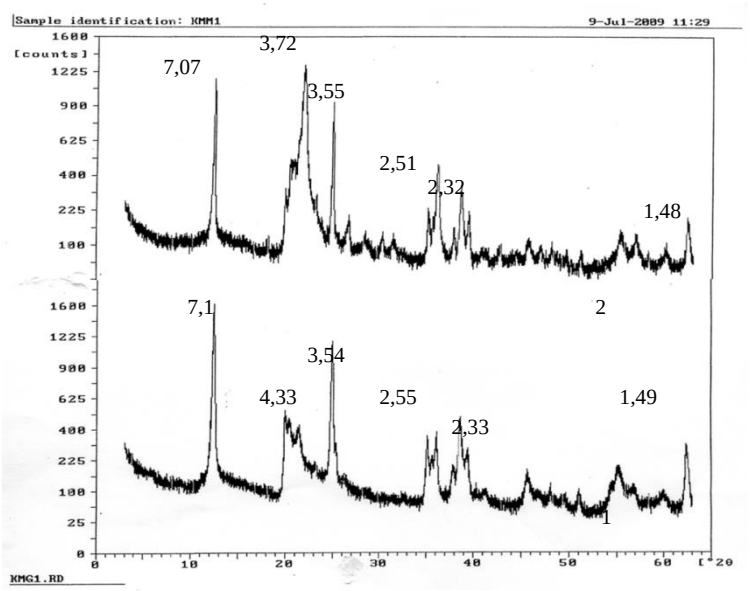
Οι αποθέσεις του καολινίτη, βρίσκονται σε ηφαιστειακά πετρώματα, ανδεσίτες και τραχειανδενσίτες. Οι ανδεσίτες έχουν χρώμα καστανό, πορφυριτικό ιστό, με φαινοκρυστάλλους πλαγιοκλάστων, αστρίων και φεμικών ορυκτών.
Οι τραχειανδεσίτες είναι ο πιο διαεδομένος τύπος λάβας στο νησί. Έχουν χρώμα καστανόφαιο και έχουν υποστεί ισχυρή εξαλλοίωση, σερικίτης, χλωρίτης, ασβεστίτης, υδροξείδιο του σιδήρου.
Η λάβα, με τη μορφή θόλων ή φλεβών διαπερνούν τα ιζήματα και διεισδύουν μεταξύ των στρωμάτων τους.
Η **Μήλος** ανήκει στο νησιωτικό σύμπλεγμα των Κυκλάδων και είναι το πέμπτο σε μέγεθος νησί τους, με γεωγραφικές συντεταγμένες 36ο 40΄ 45΄΄ N και 24ο 25΄07΄΄ Ε.
Είναι ηφαιστειακό νησί. Τα ηφαίστειά της σήμερα θεωρούνται ανενεργά. Τα εδάφη της είναι ηφαιστειακής προέλευσης και το υπέδαφός της είναι πλούσιο σε κοιτάσματα θείου, τραχείτη, πωρόλιθου, κίσσηρης, αλουνίτη, περλίτη και μπεντονίτη – μοντμοριλλονίτη. Τα υλικά αυτά του νησιού, χρησιμοποιήθηκαν από την νεολιθική εποχή (Κ. Προδρόμου, 2011).
Τα κοιτάσματα του νησιού τα εκμεταλλεύεται η εταιρεία «S& B Βιομηχανικά ορυκτά ΑΕ» η οποία είναι η πρώτη στην Ευρώπη και δεύτερη στον κόσμο στην παραγωγή και εμπορία μπεντονίτη.
Σκοπός της εργασίας αυτής, είναι να μελετήσει συγκριτικά τα δείγματα του καολινίτη που προέρχονται από διαφορετικές περιοχές ως προς την καθαρότητά τους και τις ιδιότητες τους και να διαπιστώσει τυχόν δυνατότητά τους για χρήση για ερευνητικούς σκοπούς, όπως χρησιμοποιείται σε διεθνή κλίμακα ο καολινίτης της Georgia.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

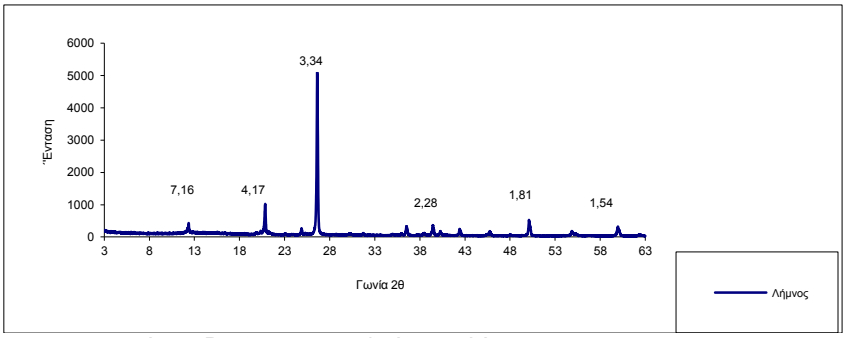
Τα δείγματα του καολινίτη προέρχονται από τα νησιά Κω, Λήμνο, από τα ορυχεία της Μήλου και από περιοχή της Macon, της Georgia των ΗΠΑ, (Wards Natural Science Establishment, Inc.). Ο καολινίτης της Georgia χρησιμοποιείται ευρύτατα διεθνώς για ερευνητικούς σκοπούς.
Το pH προσδιορίστηκε σε αιώρημα H_2O, 1:2.
Τα ορυκτά κατεργάστηκαν με 1N CH_3COONa pH 8,2 για τον προσδιορισμό των εναλλακτικών κατιόντων. Στη συνέχεια, αφού έγιναν 3 εκπλύσεις με CH_3COCH_3, κατεργάστηκαν με 1N CH_3COONH_4 pH 7,0 για τον προσδιορισμό της ολικής εναλλακτικής ικανότητας των ορυκτών CEC (Chapman, 1965). Τα αποτελέσματα των αναλύσεων δίνονται στον πίνακα 1.
Τα ορυκτά ταυτοποιήθηκαν με ακτίνες Röntgen (Σχ. 1,2,3).
Τα δείγματα του καολινίτη λειοτριβήθηκαν σε ιγδίο από αχάτη και πέρασαν από κόσκινο των 500 μ, για να δειχτεί η επίδραση της λειοτρίβησης στην εναλλακτική τους ικανότητα.
Διαλυτοποίηση του ορυκτού με οξύ.
Χρησιμοποήθηκε HCl οξύ 6N. Η αναλογία δείγματος προς οξύ ήταν 1/100. Τα δείγματα ανακινήθηκαν επί 30΄και στη συνέχεια θερμάνθηκαν επί 3,5 ώρες στο υδρόλουτρο σε θερμοκρασία 95 oC. Στη συνέχεια παρέμειναν σε ισορροπία. Ο συνολικός χρόνος της κατεργασίας ήταν 6, 24, 48, 72 και 96 ώρες. Ακολούθησε φυγοκέντρηση στις 9.000 rpm, διήθηση και παραλαβή. Στα εκχυλίσματα που ελήφθησαν προσδιορίστηκαν τα κατιόντα K^+ Na^+ με το φλογοφωτόμετρο, το Ca^{2+} και το Mg^{2+} με ατομική απορρόφηση, το Al^{3+} με την μέθοδο του aluminon (Luke, Brawn,1952) και ο Fe^{2+} με την μέθοδο της ο–φαινανθρολίνης (Fortune, Mellon,1938) με το φασματοφωτόμετρο.
Διαλυτοποίηση του ορυκτού με άλκαλι.
Χρησιμοποιήθηκε KOH 4N. Η αναλογία δείγματος προς άλκαλι ήταν 1/100. Τα δείγματα ανακινήθηκαν επί 30΄και στη συνέχεια θερμάνθηκαν επί 3,5 ώρες στο υδρόλουτρο σε θερμοκρασία 80 oC. Στη συνέχεια παρέμειναν σε ισορροπία για 24 ώρες. Ακολούθησε φυγοκέντρηση στις 9.000 rpm, διήθηση και παραλαβή. Στα εκχυλίσματα που ελήφθησαν προσδιορίστηκαν τα κατιόντα του Ca^{2+} και το Mg^{2+} με ατομική απορρόφηση, το Al^{3+} και ο Fe^{2+} με το φασματοφωτόμετρο.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

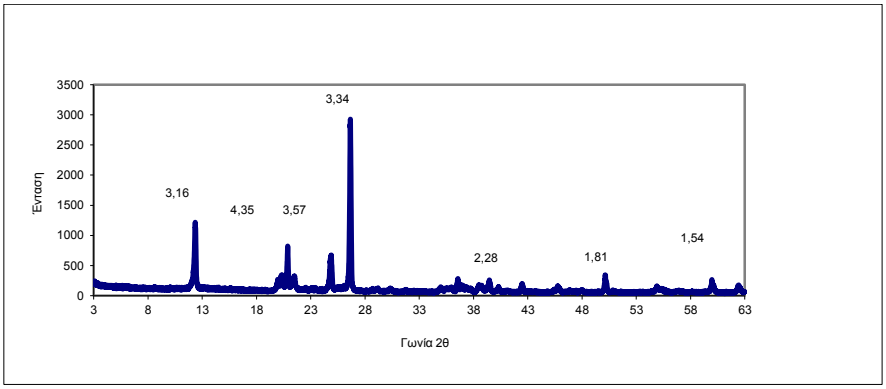
Ο καολινίτης είναι προϊόν υδροθερμικής εξαλλοίωσης πυριγενών πετρωμάτων. Η περαιτέρω επίδραση της χημικής αποσάθρωσης διασπά το δευτερογενές ορυκτό και σχηματίζονται σαν τελικά προϊόντα SiO_2 και Al_2O_3
Το χρώμα των υλικών ποικίλει, από το λευκό όπως το δείγμα της Μήλου, υπόλευκο το δείγμα της Georgia, έως το ερυθρωπό στα δείγματα της Κω και Λήμνου λόγω της ύπαρξης οξειδίων του σιδήρου.
Το δείγμα της Κω, περιέχει 56% χαλαζία και 44% καολινίτη σύμφωνα με την αποτίμιση των διαγραμμάτων των ακτίνων Röntgen. Το δείγμα της νήσου Λήμνου, περιέχει 87% χαλαζία, 2% χλωρίτες και 11% καολινίτη. Το δείγμα της Μήλου, περιέχει 43% χαλαζία, 26% χριστοβαλίτη (cristobalite, SiO_2) και 31% καολινίτη. Τέλος, το δείγμα από την Georgia περιέχει 3% μοντμοριλλονίτη, 2% μαρμαρυγίες και 95% καολινίτη. Σύμφωνα με τα παραπάνω, η σειρά κατάταξης των δειγμάτων ως προς την περιεκτικότητά τους σε καολινίτη είναι, Georgia 95% >Κως 44% >Μήλος 31% > Λήμνος !1%. Ο βαθμός καθαρότητας των δειγμάτων επηρεάζει τις φυσικοχημικές τους ιδιότητες. Επίσης τα πρωτογενή ορθόκλαστο, πλαγιόκλαστα και φεμικά ορυκτά που συνυπάρχουν στα δείγματα της Κω και της Λήμνου, επιδρούν στις ιδιότητές τους. Αποτέλεσμα της ύπαρξής τους στα δείγματα είναι ότι το άθροισμα των εναλλακτικών κατιόντων είναι κατά πολύ μεγαλύτερο από τις αντίστοιχες τιμές της ολικής τους εναλλακτικής ικανότητας. Οι τιμές της CEC των δειγμάτων ακολουθούν την κατάταξη (Πιν. 1). Georgia 7,13 me/100g > Μήλος 2,95 > Λήμνος 1,61 > Κως 1,22



Σχήμα 1. *Διαγράμματα των ακτίνων Röntgen του καολινίτη, 1 Georgia και 2 της Μήλου.*



Σχήμα 2. *Διάγραμμα των ακτίνων Röntgen του καολινίτη της Λήμνου*



Σχήμα 3. *Διάγραμμα των ακτίνων Röntgen του καολινίτη της Κω*

Πίνακας 1. *Αποτελέσματα αναλύσεων.*

Καολινίτης	pH	K^+	Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Άθροισμα	CEC <2mm	CEC, <500μ	Αύξηση
	H_2O (1:2)	me/100g							
Κως	3,62	1,00	1,00	1,96	1,04	5,00	1,22	1,522	24,75 %
Λήμνος	6,55	1,08	2,10	1,01	3,23	7,42	1,61	1,826	13,42 %
Μήλος	6,60	0,15	1,10	0,50	0,48	2,94	2,95	3,48	17,97 %
Georgia	6,60	0,15	1,04	0,98	0,98	6,67	7,13	7,61	6,73 %

Η λειοτρίβηση των δειγμάτων του καολινίτη σε μέγεθος μικρότερο από 500 μ, έδειξε αύξηση της ολικής εναλλακτικής ικανότητας. Το μικρότερο ποσοστό της αύξησης αυτής παρουσιάστηκε στο δείγμα της Georgia, παρά τον υψηλό βαθμό καθαρότητάς του. Το γεγονός αυτό οφείλεται στην λειοτρίβηση που έχει ήδη υποστεί το υλικό κατά την τυποποίησή του από την εταιρεία διάθεσης του, με αποτέλεσμα να μην υπάρχουν περιθώρια για περαιτέρω αύξηση της τιμής της CEC (Πιν. 1).

Τα δείγματα του καολινίτη κατεργάστηκαν με 6N HCl για την διαλυτοποίησή τους. Δεν παρατηρήθηκε καμμία διαφοροποίηση στην παραλαβή των κατιόντων στους χρόνους κατεργασίας που χρησιμοποιήθηκαν. Οι ποσότητες των κατιόντων που εκχυλίστηκαν στις 6 ώρες ήταν οι ίδιες με τις αντίστοιχες ποσότητές τους των 96 ωρών. Οι ποσότητες αυτές προέρχονται από τα εναλλακτικά κατιόντα, από τα πρωτογενή ορυκτά που υπάρχουν στα δείγματα και εξαρτώνται από τον βαθμό καθαρότητας των υλικών.

Πίνακας 2. *Ποσότητες κατιόντων που εκχυλίστηκαν από τα δείγματα του καολινίτη μετά από την κατεργασία τους με 6N HCl και 4N KOH.*

Καολινίτης	6N HCl						4N KOH			
	K^+	Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Al^{3+}	Fe^{2+}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Al^{3+}	Fe^{2+}
	mg / 100g									
Κως	8,0	58,0	3,031	8,195	52,6	1280,0	0,394	0,476	280	0,0
Λήμνος	8,0	320,0	163,79	15,91	54,0	198,0	1,181	0,577	247,5	0,0
Μήλος	1,0	12,0	42,64	7,40	53,6	0,0	0,0	0,439	290	0,0
Georgia	1,0	10,0	20,34	7,02	45,0	38,0	0,0	0,388	1090	0,0

Η διαφοροποίηση που παρατηρείται κατά την κατεργασία των δειγμάτων με το 4N KOH είναι ότι παρέλαβε κατά πολύ μεγαλύτερες ποσότητες Al σε σχέση με το HCl. Το γεγονός αυτό οφείλεται στο ισχυρό αλκαλικό περιβάλλον. Για τιμές pH μεγαλύτερες του 9,0 διαλυτοποιούνται τα άμορφα $Al(OH)_3$. Σε αλκαλικό περιβάλλον, το κατιόν του Fe^{2+}, σχηματίζει ίζημα $Fe(OH)_2$ αδιάλυτου σε περίσσεια βάσεως, διαλυτού όμως σε οξέα.

$Fe^{2+} + 2OH^- \leftrightarrow Fe(OH)_2$, $Fe(OH)_2 + 2H^- \rightarrow Fe^{2+} + 2H_2O$

Σύμφωνα με τον Pentrak και συν.(2009), το πρώτο βήμα της προσβολής των ορυκτών της αργίλου από τα οξέα, είναι η εναλλαγή με H^+ των εναλλακτικών κατιόντων του Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^+ και K^+ και στη συνέχεια η διαλυτοποίηση του Al, Fe και Mg από τα οκτάεδρα του πλέγματος των ορυκτών. Η τελική φάση της επίδρασης των οξέων είναι η παραλαβή άμορφου πυριτίου. Η αντκατάσταση του Al και του Si στο πλέγμα του καολινίτη είναι δυσκολότερη σε σύγκριση με τους σμεκτίτες και γι΄αυτό η διαλυτοποίησή του από τα οξέα είναι βραδύτερη.

Μετά την κατεργασία τους, τα δείγματα των ορυκτών ήταν όλα λευκά, λόγω της απομάκρυνσης όλων των προσμίξεων που συνόδευαν τα αρχικά δείγματα του ορυκτού.

Συμπερασματικά, τα δείγματα του καολινίτη από την Κω και τη Λήμνο, έχουν το μεγαλύτερο ποσοστό προσμίξεων και τη μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε οξείδια του σιδήρου. Η λειοτρίβησή τους σε μέγεθος μικρότερο των 500μ, αυξάνει σημαντικά την CEC. Το δείγμα της Λήμνου, παρουσιάζει τη μικρότερη περιεκτικότητα σε καολινίτη. Το δείγμα της Μήλου, δεν περιέχει καθόλου οξείδια σιδήρου και η λειοτρίβηση αυξάνει την τιμή της CEC του ορυκτού. Το Al που εκχυλίζεται από αυτά τα τρία δείγματα, με 4N KOH, είναι της ίδιας τάξης μεγέθους και το μεγαλύτερο ποσοστό τους προέρχεται από τα σαλικά ορυκτά που συνοδεύουν τα δείγματα. Το δείγμα της Georgia, έχει τον μεγαλύτερο βαθμό καθαρότητας, 95%, παρουσιάζει την μεγαλύτερη τιμή CEC, γεγονός που οφείλεται εν μέρει στον μοντμοριλλονίτη που περιέχει, 3% και στην λειοτρίβηση που έχει υποστεί. Στο γεγονός αυτό, οφείλεται και η μικρή αύξηση της CECμετά από τη λειοτρίβησή του. Περιέχει οξείδια του σιδήρου και η διαλυτοποίησή του με 4N KOH, δίνει τη μεγαλύτερη τιμή στο εκχυλιζόμενο Al. Αυτό οφείλεται στην λειοτρίβηση του, στην αύξηση της επιφάνειας του ορυκτού με αποτέλεσμα την προσβολή του στο ισχυρά αλκαλικό περιβάλλον.

Από τα δείγματα που χρησιμοποιήθηκαν, εκείνο της Μήλου, παρουσιάζει τη μεγαλύτερη καθαρότητα και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ερευνητικούς σκοπούς.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Borchardt, G.,1989. Minerals in Soil Environments. 2ed. Madison Wisconsin: Soil Sci. Soc. Am. USA: 675- 688.

Dixon, J.B., 1989. Minerals in Soil Environments. 2ed. Madison Wisconsin: Soil Sci.Soc. Am., USA: 501-510.

Chapman, H.D., 1965. Methods of Soil Analysis, Part 2, Am. Soc. Agronomy, Madison, Wisconsin, USA: 891-901.

Fortune, W.B., M.G. Mellon, 1938. Determination of Iron with o-phenanthroline.A Spectrophotometric Study. Ind. Eng. Chem. Anal. Ed., 10, 60-63.

Luke, C.L., K.C. Brawn, 1952. Photometric Determination of Aluminum. Anal. Chem 24, 1120-1123.

Pentra'k,M., J Madejova' and P. Komadel, 2009. Acid and alkali treatment of kaolins. Clay Minerals, 44, 511-523.

Περράκη – Λοϊσίου, Θ., 2007. Βιομηχανικά ορυκτά και πετρώματα. Σημειώσεις.Ε.Μ.Π. Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων – Μεταλλουργών.

Προδρόμου, Κ.Π. 1989. Παραλαβή μορφών αργιλίου του εδάφους. (Νέα μέθοδος με Πυροκατεχίνη). Διδακτορική Διατριβή. Επιστ. Επετ. του Τμήματος Γεωπονίας. Παράρτ. 5. τόμος ΚΖ΄.

Προδρόμου, Κ.Π.,2011. Μελέτη των ιδιοτήτων των ορυκτών μπεντονίτη και καολινίτη της νήσου Μήλου και σύγκρισή τους με αντίστοιχα ορυκτά των Η.Π.Α. Πρακτικά 7ου Εθνικού συνεδρίου Γεωργικής Μηχανικής, Αθήνα.

Σαπουντζή Η. – Γ. Χριστοφίδη. 1982. Ορυκτοδιαγνωστική. Θεσσαλονίκη.

Ευχαριστίες

Θεωρώ υποχρέωσή μου, να ευχαριστήσω την εταιρία «S&B Βιομηχανικά ορυκτά ΑΕ» για την πρόθυμη και άμεση χορήγηση των δειγμάτων, όπως και τον συνάδελφο κ. Δ. Παπούλη από το Τμήμα Γεωλογίας του Πανεπιστημίου Πατρών για την ευγενική παραχώρηση δειγμάτων από την Κω και την Λήμνο.

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΠΡΟΣΡΟΦΗΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΣΕ ΥΔΑΤΑ ΚΑΙ ΦΥΤΑ ΠΟΥ ΚΑΛΛΙΕΡΓΗΘΗΚΑΝ ΣΕ ΕΔΑΦΗ ΕΠΙΒΑΡΥΜΕΝΑ ΜΕ ΦΩΣΦΟΡΟ

Ευαγγελία Μπρόζου, Ζαχαρίας Ιωάννου, Ανθούλα Δημήρκου* και Βασίλειος Αντωνιάδης
Εργαστήριο Εδαφολογίας, Τμήμα Γεωπονίας, Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Οδός Φυτόκου, Ν. Ιωνία Βόλου, 38446, Ελλάδα, *e-mail. adimirkou@uth.gr

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκε η επίδραση προσροφητικών υλικών στην αποκατάσταση υδάτων επιβαρυμένων με φώσφορο καθώς επίσης και η συμπεριφορά τους ως εδαφοβελτιωτικά σε φυτά μαρουλιού τα οποία καλλιεργήθηκαν σε εδάφη επιβαρυμένα με φώσφορο. Τα προσροφητικά υλικά που χρησιμοποιήθηκαν ήταν τα παρακάτω: γκαιτίτης (G), σύστημα ζεολίθου-γκαιτίτη Ι (Z-GY), σύστημα ζεολίθου-γκαιτίτη ΙΙ (Z-GR), μπετονίτης (B) και ζεόλιθος (Z). Από τα αποτελέσματα προέκυψε ότι η μεγαλύτερη προσρόφηση φωσφόρου παρουσιάστηκε σε υδατικά διαλύματα που περιείχαν γκαιτίτη. Εν συνεχεία, κατά τη μελέτη της συμπεριφοράς των εδαφοβελτιωτικών σε φυτά μαρουλιού που καλλιεργήθηκαν σε εδάφη επιβαρυμένα με φώσφορο χρησιμοποιήθηκαν τρεις τύποι εδαφών: αργιλοπηλώδες με pH= 8, αμμοπηλώδες με pH= 8 και πηλοαμμώδες με pH= 8.8. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι μεγαλύτερες ποσότητες φωσφόρου προσροφώνται από το γκαιτίτη στα αργιλοπηλώδη εδάφη, το σύστημα ζεολίθου-γκαιτίτη Ι στα αμμοπηλώδη εδάφη και το ζεόλιθο και το σύστημα ζεολίθου-γκαιτίτη ΙΙ στα πηλοαμμώδη εδάφη.

Λέξεις κλειδιά: φώσφορος, εδαφοβελτιωτικά, προσρόφηση, μαρούλι

IMPACT OF ADSORBENTS ON WATERS AND PLANTS CULTIVATED IN SOILS OF HIGH PHOSPHOROUS CONCENTRATION

Evangelia Brozou, Zacharias Ioannou. Anthoula Dimirkou* and Vasilios Antoniadis
Soil Science Laboratory, Department of Agriculture, Crop Production and Rural Environment, University of Thessaly, Fytokou Street, N. Ionia, Volos, 38446, Greece, *e-mail. adimirkou@uth.gr

In the present paper, the effect of adsorbents on the remediation of waters with high phosphorous concentration and their effect as soil amendments on the cultivation of lettuces on soils contaminated with phosphorous was studied. The adsorbents, that were used, are described as follows: goethite (G), zeolite-goethite system I (Z-GY), zeolite-goethite system II (Z-GR), bentonite (B) and zeolite (Z). The results indicated that the highest adsorption of phosphorus was presented to aqueous solutions which contained goethite. Moreover, three types of soils were used to study the effectiveness of soil amendments to lettuces cultivated in polluted soils: clay loam with pH= 8, sandy loam with pH= 8 and loamy sand with pH= 8.8. The results indicated that the highest amount of phosphorus adsorbed from goethite to clay loam soils, zeolite-goethite system I to sandy loam soils, zeolite and zeolite-goethite system II to loamy sand soils.

Key words: phosphorus, soil amendments, adsorption, lettuce

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα εδάφη δέχονται μεγάλες ποσότητες φωσφόρου από πηγές όπως τα λιπάσματα και τα ζωικά απόβλητα, με αποτέλεσμα τα επίπεδα του εδαφικού φωσφόρου συνεχώς να αυξάνονται.

Υπερβολικές ποσότητες φωσφόρου μπορεί να προκαλέσουν τροφοπενία σιδήρου, μαγγανίου ή ψευδαργύρου εξαιτίας της κατακρήμνισης των στοιχείων αυτών (Μήτσιος, 2004). Επίσης μεγάλες περιεκτικότητες φωσφόρου μπορούν να οδηγήσουν στο φαινόμενο του ευτροφισμού των λιμναίων συστημάτων γλυκών νερών. Το φαινόμενο του ευτροφισμού αρχίζει όταν η ολική περιεκτικότητα του φωσφόρου σε μια λίμνη είναι μεγαλύτερη από 30 μgL^{-1} (Catt et al. 1998; Tunney et al. 1997; Ritchie and Weaver 1993).

Για τους λόγους αυτούς η απομάκρυνση του φωσφόρου από τα λύματα και τα εδάφη κρίνεται απαραίτητη και αυτό μπορεί να επιτευχθεί με διάφορες μεθόδους όπως η προσρόφηση με διάφορα υλικά.

Ορισμένα υλικά τα οποία έχουν μελετηθεί εκτενώς είναι τα πυριτικά και αργιλοπυριτικά ορυκτά, τα οξείδια του αργιλίου και του σιδήρου, η ιπτάμενη τέφρα και γενικά υλικά που περιέχουν ανθρακικό ασβέστιο (Argiri et al. 2013; Hesterberg and Beauchemin 2000).

Σκοπός της εργασίας είναι η αποκατάσταση εδαφών και υδάτων επιβαρυμένων με φώσφορο χρησιμοποιώντας αργιλοπυριτικά ορυκτά και οξείδια (Z, Z-GY, Z-GR, G) και η μείωση της προσλαμβάνουσας ποσότητας φωσφόρου από τα φυτά.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Ο ζεόλιθος (κλινοπτιλόλιθος) που χρησιμοποιήθηκε είναι της εταιρείας S & B Company (Ελλάδα). Ο γκαιτίτης (FeOOH) παρασκευάστηκε στο εργαστήριο εδαφολογίας του Π.Θ. σύμφωνα με την μέθοδο των Schwertmann και Cornell (2000) ενώ τα συστήματα ζεόλιθου – γκαιτίτη Ι και ΙΙ (Z-GY, Z-GR) με την μέθοδο των Ioannou et al. (2009).

Μελετήθηκε η προσρόφηση φωσφόρου από υδατικά διαλύματα στα παρακάτω προσροφητικά

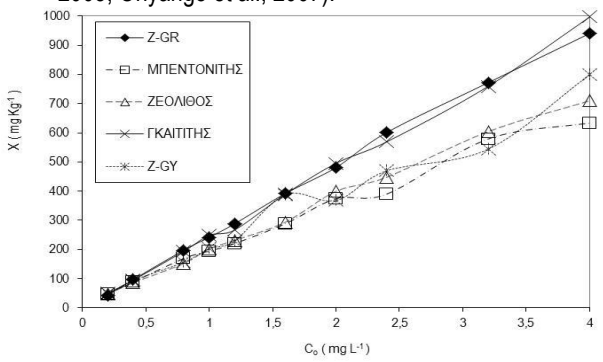
υλικά: γκαιτίτη (G), ζεόλιθο (Z), μπετονίτη (B) και σε διμερή συστήματα ζεολίθου – γκαιτίτη I (Z-GY) και ζεολίθου – γκαιτίτη II (Z-GR). Το πείραμα πραγματοποιήθηκε σε αναλογία προσροφητικού υλικού / διαλύματος ίσο με 1/250. Χρησιμοποιήθηκαν 11 διαφορετικές συγκεντρώσεις φωσφόρου (0, 0.2, 0.4, 0.8, 1.0, 1.2, 1.6, 2.0, 2.4, 3.2 και 4 ppm P). Κάθε πλαστικό φιαλίδιο που περιέχει υδατικό διάλυμα φωσφόρου ανακινήθηκε περιοδικά για 48 ώρες. Ακολούθησε διήθηση και η περιεκτικότητα του φωσφόρου στο διήθημα προσδιορίστηκε με τη μέθοδο Olsen. Από τη διαφορά της συγκέντρωσης του φωσφόρου που προστέθηκε και αυτής που βρέθηκε στο διήθημα υπολογίστηκε η ποσότητα του φωσφόρου που προσροφήθηκε από κάθε προσροφητικό υλικό. Το πείραμα επαναλήφθηκε τρείς φορές.

Εν συνεχεία, μελετήθηκε η συμπεριφορά των ανωτέρω προσροφητικών υλικών ως εδαφοβελτιωτικών σε φυτά μαρουλιού που καλλιεργήθηκαν σε επιβαρυμένα με φώσφορο εδάφη στο θερμοκήπιο της Σχολής Γεωπονικών Επιστημών. Το πείραμα πραγματοποιήθηκε σε τρεις τύπους εδαφών: αργιλοπηλώδες (CL) με pH=8, αμμοπηλώδες (SL) με pH=8, πηλοαμμώδες (LS) με pH=8.8 από τις περιοχές Διαλεχτό και Περδικοράχη Τρικάλων.

Στα φυτοδοχεία προστέθηκε 1 kg εδάφους, 1 g εδαφοβελτιωτικού και 250 mg P Kg^{-1} εδάφους υπό μορφή KH_2PO_4. Υπήρχαν φυτοδοχεία στα οποία προσετέθη μόνο η συγκέντρωση φωσφόρου χωρίς φυτά και φυτοδοχεία χωρίς φώσφορο με φυτά (φυτά μάρτυρες). Το πείραμα στο θερμοκήπιο πραγματοποιήθηκε σε δύο επαναλήψεις. Για τον προσδιορισμό του φωσφόρου στα φυτά χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της ξηρής καύσης στους 520°C και στο διήθημα προσδιορίστηκε η περιεκτικότητα του P με τη μέθοδο Olsen.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Κατά την προσρόφηση φωσφόρου στα υδατικά διαλύματα από τα προσροφητικά υλικά σε συνάρτηση με την αρχική ποσότητα φωσφόρου στο διάλυμα παρατηρήθηκε ότι όσο αυξάνει η αρχική συγκέντρωση φωσφόρου στο διάλυμα τόσο αυξάνει και η ποσότητα προσρόφησης φωσφόρου από το κάθε προσροφητικό υλικό (Σχήμα 1). Αντίστοιχα αποτελέσματα επιβεβαιώνονται και από τη βιβλιογραφία (Zhao and Zhou 2007; Oguz et al., 2003, Onyango et al., 2007).



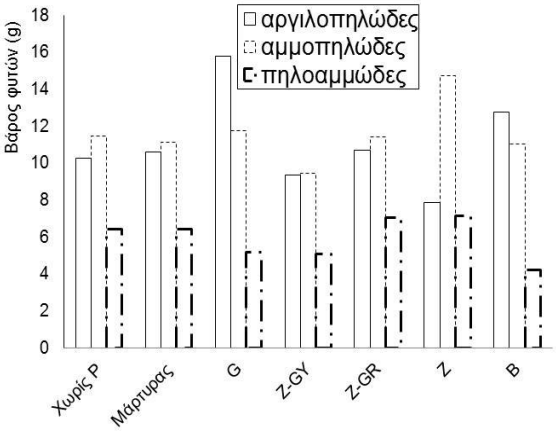
Σχήμα 1: Προσρόφηση φωσφόρου σε υδατικά διαλύματα (mg P kg^{-1} προσροφητή) από τα προσροφητικά υλικά σε συνάρτηση με την αρχική συγκέντρωση φωσφόρου στο διάλυμα (σε mg P L^{-1}).

Οι θεωρητικές τιμές της μέγιστης προσρόφησης και της αναλογίας διαλύματος / προσροφητικού υλικού παρουσιάζονται στο Πίνακα 1. Η μέγιστη προσρόφηση φωσφόρου παρατηρήθηκε από το γκαιτίτη και ακολουθούν κατά φθίνουσα σειρά ο ζεόλιθος-γκαιτίτης II, ο ζεόλιθος-γκαιτίτης I, ο ζεόλιθος και ο μπετονίτης. Από τη συσχέτιση των πειραματικών με τα θεωρητικά δεδομένα προκύπτει ότι ο συντελεστής συσχέτισης (correlation coefficient factor, R^2) ακολουθεί την ακόλουθη σειρά: ζεόλιθος-γκαιτίτης II, γκαιτίτης > ζεόλιθος > μπετονίτης > ζεόλιθος-γκαιτίτης I.

Πίνακας 1: Θεωρητικές τιμές μέγιστης προσρόφησης φωσφόρου, αναλογίας διαλύματος/προσροφητή και συντελεστή συσχέτισης μετά από συσχέτιση τους με τις αντίστοιχες πειραματικές τιμές

ΠΡΟΣΡΟΦΗΤΙΚΑ ΥΛΙΚΑ	Z-G II	B	Z	G	Z-G I
Μέγιστο προσ/φησης (mg P Kg^{-1})	940.4	634.0	709.9	997.0	799.3
Αναλογία διαλ/τος/προσροφητή (L kg^{-1})	240.4	171.5	185.6	243.1	192.9
R^2	0.998	0.978	0.994	0.998	0.972

Από το πείραμα στο θερμοκήπιο συσχετίσθηκε η επίδραση των προσροφητικών υλικών που χρησιμοποιούνται ως εδαφοβελτιωτικά με το βάρος των φυτών (Σχήμα 2) καθώς και η προσρόφηση του φωσφόρου από τα φυτά σε συνάρτηση με τα διάφορα εδαφοβελτιωτικά (Σχήμα 3) και στους τρεις τύπους εδάφους.

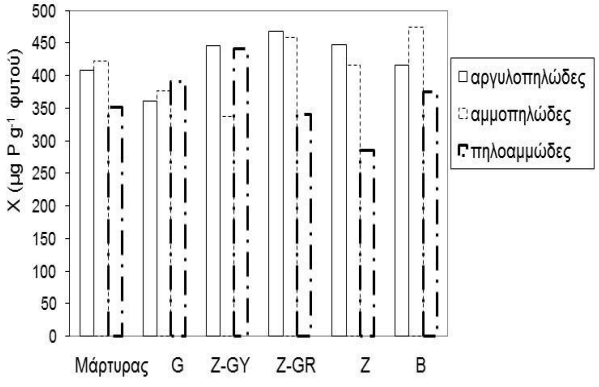


Σχήμα 2: Επίδραση των εδαφοβελτιωτικών στο βάρος των φυτών για τα διαφορετικού τύπου εδάφη

Τα φυτά που αναπτύχθηκαν στο πηλοαμμώδες έδαφος έχουν το μικρότερο βάρος ανεξαρτήτως εδαφοβελτιωτικού ενώ τα φυτά που αναπτύχθηκαν στο αργιλοπηλώδες έδαφος με γκαιτίτη ως εδαφοβελτιωτικό το μεγαλύτερο βάρος (Σχήμα 2). Τα υπόλοιπα εδαφοβελτιωτικά παρουσιάζουν ενδιάμεσες τιμές σε σχέση με τα διαφορετικά βάρη και ακολουθούν τη σειρά: B/LS<Z-GY/LS <G/LS<Z-GR/LS<Z/LS<Z/CL<Z-GY/CL<Z-GY/SL<Z-GR/CL<B/SL<Z-GR/SL<G/SL<B/CL<Z/SL<G/CL. Αντίστοιχες μεταβολές σε φυτα καλαμποκιού ή μαρουλιού παρατηρούνται στη βιβλιογραφία με χρήση ζεολίθου ως εδαφοβελτιωτικού (Ahmed et al., 2010; Rafiee and Saad 2006).

Από το σχήμα 3 προκύπτει ότι εδάφη επιβαρυμένα με υψηλές συγκεντρώσεις φωσφόρου στα οποία καλλιεργήθηκε το φυτό μαρούλι και των οποίων γνωρίζουμε την μηχανική σύσταση ισχύουν τα κάτωθι: Στα αργιλοπηλώδη εδάφη η προσθήκη του γκαιτίτη προκάλεσε συγκράτηση του φωσφόρου από το έδαφος και ελάχιστη μεταφορά του στο φυτό. Αντίθετα προκλήθηκε μεγαλύτερη αποδέσμευση του φωσφόρου από το έδαφος και μεταφορά του στα φυτά με την προσθήκη κατά φθίνουσα σειρά του ζεόλιθου-γκαιτίτη ΙΙ, ζεόλιθου, ζεόλιθου-γκαιτίτη Ι και μπετονίτη, οπότε τα φυτά αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως χλωρή λίπανση σε εδάφη φτωχά σε φώσφορο. Στα αμμοπηλώδη εδάφη η προσθήκη κατά φθίνουσα σειρά των εδαφοβελτιωτικών ζεόλιθου-γκαιτίτη Ι, γκαιτίτη και ζεόλιθου προκάλεσε την συγκράτηση του φωσφόρου από το έδαφος και την ελάχιστη μεταφορά του στο φυτό. Αντίθετα προκλήθηκε αποδέσμευση του P από το έδαφος και μεταφορά του στα φυτά με την προσθήκη κατά φθίνουσα σειρά του μπετονίτη και του ζεόλιθου-γκαιτίτη ΙΙ. Στα πηλοαμμώδη εδάφη η προσθήκη κατά φθίνουσα σειρά των εδαφοβελτιωτικών, ζεόλιθου και ζεόλιθου-γκαιτίτη ΙΙ, προκάλεσε συγκράτηση του φωσφόρου από το έδαφος και ελάχιστη μεταφορά του στο φυτό. Αντίθετα προκλήθηκε αποδέσμευση του P από το έδαφος και μεταφορά του στα φυτά με την προσθήκη κατά φθίνουσα σειρά του ζεόλιθου-γκαιτίτη Ι, γκαιτίτη και μπετονίτη.

Συγκρίνοντας τα σχήματα 2 και 3 παρατηρούμε ότι οι υψηλές τιμές βάρους του φυτού αντιστοιχούν σε μειωμένες προσροφούμενες ποσότητες φωσφόρου διότι οι χρησιμοποιούμενες συγκεντρώσεις φωσφόρου στο έδαφος είναι τοξικές για το φυτό.



Σχήμα 3*: Προσρόφηση φωσφόρου από φυτά σε συνάρτηση με τα διάφορα εδαφοβελτιωτικά για τους τρείς τύπους εδαφών*

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τα υλικά που μελετήθηκαν στην αποκατάσταση υδάτων περιεκτικότητας από 0-4 ppm φωσφόρου η χρήση του γκαιτίτη ως προσροφητικού υλικού αποδείχθηκε η καλύτερη λόγω της μεγαλύτερης προσρόφησης του P.

Η προσθήκη γκαιτίτη σε αργιλοπηλώδη εδάφη, συστήματος ζεολίθου-γκαιτίτη Ι στα αμμοπηλώδη εδάφη και ζεολίθου και συστήματος ζεολίθου-γκαιτίτη ΙΙ στα πηλοαμμώδη εδάφη επιβαρυμένα με 250 mg P Kg^{-1} εδάφους, συντέλεσε στην ελαχιστοποίηση της μεταφοράς του P στο φυτό του μαρουλιού.

Βιβλιογραφία

Ahmed, O. H., Sumalatha, G., and Nik Muhamad, A. M., 2010. Use of zeolite in maize (Zea mays) cultivation on nitrogen, potassium, and phosphorus uptake and use efficiency. International Journal of the Physical Sciences 5 (15): 2393–2401.

Argiri A., Ioannou, Z., Gavala, P.-M., Dimirkou, A., 2013. Phosphorus removal from aqueous solutions and Greek soils using modified natural minerals and its impact on the morphological characteristics of crops, Communications in Soil Science and Plant Analysis 44: 551-565.

Catt, J. A., Howse, K. R., Farina, R., Brockie, D., Todd, A., Chambers, B. J., Hodgkinson, R., Harris, G. L., and Quinton, J. N., 1998. Phosphorus losses from arable land in England. Soil Use and Management 14:168–174.

Hesterberg, D., and Beauchemin, S., 2000. Changes in phosphate bonding as affected by level of adsorption on oxide minerals, Environmental Sciences, Science Highlights (NSLS Activity Report 2). pp. 32–34.

Ioannou, Z., Dimirkou, A., Golia, E.E, and Ioannou, A., 2009. Sorption of Zinc by Clinoptilolite – $Fe(NO_3)_3$ Systems. Communications in Soil Science and Plant Analysis 40: 240-258.

Oguz, E., Gurses, A., and Yalcin, M., 2003. Removal of phosphate from waste waters by adsorption. Water, Air and Soil Pollution 148:279–287.

Onyango, M. S., Kuchar, D., Kubota, M., and Matsuda, H., 2007. Adsorptive removal of phosphate ions from aqueous solution using synthetic zeolite. Industrial and Engineering Chemistry Research 46 (3): 894–900.

Rafiee, G., and Saad, C. R., 2006. The effect of natural zeolite (clinoptiolite) on aquaponic production of red tilapia (Oreochromis sp.) and lettuce (Lactuca sativa var. longifolia), and improvement of water quality. Journal of Agricultural Science and Technology 8:313–322.

Ritchie, G. S. P., and Weaver, D. M., 1993. Phosphorus retention and release from sandy soils of the Peel-Harvey catchment. Fertilizer Research 36:115–122.

Schwertmann U., and Cornell, R. M., 2000. Iron Oxides in the Laboratory. Weiheim: Wiley-VCH p.p. 37-42.

Tunney, H., Carton, O. T., Brookes, P. C., and Johnston, A. E., 1997. Phosphorus loss from soil to water. London: CABI.

Zhao, G. Y., and Zhou, Q., 2007. Adsorption of phosphorous from wastewater onto zeolite. Technology of Water Treatment 2:15–16.

Μήτσιος Ι., 2004. Γονιμότητα Εδαφών. Εκδόσεις Zymel, σελ.123-181.

Η ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ ΟΡΓΑΝΙΚΗΣ ΟΥΣΙΑΣ ΣΤΟ ΕΔΑΦΟΣ ΣΕ ΕΝΑ ΜΑΚΡΟΧΡΟΝΙΟ ΠΕΙΡΑΜΑ ΣΥΓΚΡΙΣΗΣ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΩΝ ΕΔΑΦΟΥΣ

Θεοφάνης Α. Γέμτος, Χρήστος Καβαλάρης, Χρήστος Καραμούτης, Σπύρος. Φουντάς

Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας, Τμήμα Γεωπονίας, Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Οδός Φυτόκου, Ν. Ιωνία, 38446, Βόλος. Ε- mail: gemtos@agr.uth.gr

Η εργασία παρουσιάζει τα πρώτα αποτελέσματα μελέτης της επίδρασης της αφαίρεσης όλης της παραγόμενης βιομάζας στο έδαφος. Χρησιμοποιήθηκε ένα μακροχρόνιο 15ετές πείραμα όπου συγκρίνονταν πέντε μέθοδοι κατεργασίας εδάφους 1.Συμβατική κατεργασία (Σ) με όργωμα στα 25-30 cm 2. Μειωμένη κατεργασία με χρήση βαρύ καλλιεργητή (ΒΚ) σε βάθος 20-25 cm. 3. Μειωμένη κατεργασία με χρήση περιστροφικού καλλιεργητή (ΠΚ) σε βάθος 12-15 cm. 4. Μειωμένη κατεργασία με δισκοσβάρνα (Δ) ή κατεργασία σε λωρίδες (Λ). Αρχικά η κατεργασία γίνονταν με χρήση δισκοσβάρνας (αβαθής κατεργασία) και τα τελευταία έτη αντικαταστάθηκε από κατεργασία σε λωρίδες. Στη μέθοδο αυτή εφαρμόστηκε είτε μειωμένη κατεργασία με δισκοσβάρνα σε όλη την επιφάνεια (χειμερινές καλλιέργειες) είτε μειωμένη κατεργασίας σε λωρίδες (εαρινές). Η κατεργασία σε λωρίδες έγινε με χρήση ενός σύνθετου μηχανήματος που σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε στο Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας του Π.Θ. 5.Ακαλλιέργεια (Α). Απ' ευθείας σπορά στην ακατέργαστη επιφάνεια με συμβατικές σπαρτικές μηχανές. Το τελευταία δύο έτη η μέθοδος διασπάστηκε στα δύο, στο μισό τεμάχιο διατηρούνταν τα φυτικά υπολείμματα ενώ από το άλλο μισό απομακρύνονταν. Καθ' όλα τα έτη και σε όλες τις μεταχειρίσεις (εκτός από την υπο-μεταχείριση της ακαλλιέργειας όπου τα φυτικά υπολείμματα τα δύο τελευταία έτη απομακρύνονταν) η διαχείριση των υπολειμμάτων γίνονταν με ενσωμάτωση τους και όχι με απομάκρυνση ή καύση. Το αποτέλεσμα ήταν ότι μετά από 16 έτη η οργανική ουσία του εδάφους έφτασε περίπου στο 2%, από 1% αρχικά, με την ακαλλιέργεια να έχει σημαντικά περισσότερη Ο.Ο. στην επιφάνεια και η συμβατική σε βάθος κάτω από 15 cm. Αυτό υποδεικνύει ότι η Ο.ΟΥ. μπορεί να αυξηθεί με κατάλληλη διαχείριση των υπολειμμάτων και με χρήση μεθόδων μειωμένης κατεργασίας.

Λέξεις κλειδιά: κατεργασία εδάφους, οργανική ουσία εδάφους, φυσικές ιδιότητες εδάφους

SOIL ORGANIC MATTER **DYNAMICS** IN A LONG TERM TILLAGE EXPERIMENT

T.A. Gemtos, C. Cavalaris, C. Karamoutis, S. Fountas

[1]Laboratory of Farm Mechanisation, Department of Agriculture Crop Production and Rural Environment, University of Thessaly, Fytokou Street, N. Ionia, GR-38446, Volos, Greece. e-mail: gemtos@agr.uth.gr

This paper presents the first year results of an experiment aiming at studying the effect of whole biomass removal to the soil. A long term tillage experiment was used. Five tillage systems were compared in the experiment (conventional tillage, with ploughing at 25-30 cm depth, HC with heavy cultivator at 20-25 cm depth, RC with rotary cultivator at 12-15 cm depth, DH with disk harrow at 8-10 cm. In the last years in row crops strip tillage was used instead of disk harrow. A machine designed and developed in the lab was used (this treatment was split in two: in one the crop residues were removed and were added in the other one which finally had double the residues. Seedbed was prepared by disk harrows or light cultivators as required. Finally NT plots were planted without any tillage). Residues were left in the field and no removal or burning was applied. The results indicated that after 15 years soil organic was increased from 1% to around 2% with in the no tillage or and in the reduced tillage treatments to present higher rates at at the top 0-15 cm layer and in the conventional treatment at the deeper layer (15-30) cm layer. The results indicate that proper residue management as well as reduced or no tillage can increase soil organic matter.

Key words: soil tillage, soil organic matter, soil physical properties.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το έδαφος είναι η βάση της γεωργίας αλλά και πολλών άλλων ανθρώπινων δραστηριοτήτων. Παίζει σημαντικό ρόλο σε μια σειρά αλληλεπιδράσεων με την ατμόσφαιρα και συμβάλλει ή μπορεί να αποτρέψει τη κλιματική αλλαγή. Η ΕΕ προετοιμάζει μια οδηγία για τη προστασία του εδάφους. Πριν από την υιοθέτηση της οδηγίας η Ευρωπαϊκή Επιτροπή χρηματοδότησε έρευνα για τους κινδύνους που αντιμετωπίζει το έδαφος. Η έρευνα κατέληξε σε έξι κύριους παράγοντες που απειλούν το έδαφος και τη γονιμότητα του (SOCO project team 2009): η διάβρωση από νερό και αέρα, η μείωση της οργανικής ουσίας, η βιοποικιλότητα, η συμπίεση του εδάφους, η ρύπανση από βαριά μέταλλα και η αλκαλίωση. Είναι γνωστό ότι οι τέσσερις πρώτοι παράγοντες επηρεάζονται άμεσα ή έμμεσα από τη

κατεργασία του εδάφους και τη διαχείριση των υπολειμμάτων των καλλιεργειών.

Ο όρος οργανική ουσία (Ο.Ο.) του εδάφους αναφέρεται στα οργανικά συστατικά του εδάφους τα οποία περιλαμβάνουν κάθε ζωικό ή φυτικό υπόλειμμα το οποίο παραμένει ή επιστρέφει στο έδαφος και υπόκειται σε διεργασίες αποικοδόμησης (LIFE-Soil Sustainability (So.S.) 2009-2012) . Το πορώδες (Arshad et al., 1999) , η δομή του εδάφους (Reeves, 1997), η διηθητική ικανότητα, η βιοποικιλότητα του εδάφους, η ικανότητα συγκράτησης νερού (Larney and Lindwall 1995)και θρεπτικών στοιχείων καθώς και η διαθεσιμότητα των θρεπτικών συστατικών επηρεάζονται από την οργανική ουσία που αποτελεί και από τα πιο σημαντικά συστατικά του εδάφους. Η άργιλος μαζί με την οργανική ουσία αποτελούν τα δυο βασικότερα συγκολλητικά και σταθεροποιητικά συστατικά των εδαφικών τεμαχιδίων. (Gomez et al., 2001, Chan et al., 2002) και συνδυάζονται με αυξημένη ευθρυπτότητα και μειωμένη αντίσταση κατά την μηχανική κατεργασία (McLaughlin et al. 2002) . Ένα χαρακτηριστικό γνώρισμα των εδαφών που δεν υπόκεινται σε εντατική κατεργασία είναι η αύξηση της οργανικής ουσίας, ιδίως στην ανώτερη επιφάνεια (Simon et al., 2009), Η αύξηση επέρχεται σταδιακά και οφείλεται στην αποσύνθεση των ετήσιων φυτικών υπολειμμάτων αλλά και στη μικρότερη αποσύνθεση της οργανικής ουσίας από το μειωμένο αερισμό του εδάφους. Η οργανική ουσία ενσωματώνεται στα εδαφικά συσσωματώματα (Onweremadu et al., 2007) καθιστώντας τα πιο σταθερά και ανθεκτικά στις δράσεις της συμπίεσης και της διάβρωσης. Η περιεκτικότητα του εδάφους σε οργανική ουσία σχετίζεται άμεσα με τη μάζα των φυτικών υπολειμμάτων που επιστρέφουν στο έδαφος (Martins et al. 2009). Για να επέλθει αύξηση στην οργανική ουσία του εδάφους κατά την εφαρμογή συστημάτων μειωμένης κατεργασίας θα πρέπει αυτά να συνοδεύονται από εντατικοποίηση της παραγωγής με καλλιέργειες οι οποίες επιστρέφουν στο έδαφος μεγάλο όγκο φυτικών υπολειμμάτων μετά τη συγκομιδή. Μια εναλλακτική λύση είναι η εισαγωγή καλλιεργειών φυτοκάλυψης και η ενσωμάτωση τους στο έδαφος ως χλωρή λίπανση. Μελέτες έδειξαν ότι ενώ το κύριο μέρος της οργανικής ουσίας (του χούμου) του εδάφους προέρχεται από τη ρίζα, αύξηση επιτυγχάνεται μόνο όταν ενσωματώνονται και φυτικά υπολείμματα. Η ρίζα χωρίς φυτικά υπολείμματα (δηλαδή κυτταρίνες του υπέργειου τμήματος) φαίνεται να μη μπορεί να αυξήσει την οργανική ουσία. Σύμφωνα με τους Salinas-Garcia et al. (2001) για να επέλθει αύξηση της οργανικής ουσίας στην επιφανειακή στοιβάδα του εδάφους, θα πρέπει με το σύστημα της μειωμένης κατεργασίας ή της ακαλλιέργειας να διατηρείται στην επιφάνεια του εδάφους τουλάχιστον το 60% των φυτικών υπολειμμάτων όταν οι κλιματολογικές συνθήκες της περιοχής ευνοούν την ταχεία διάσπαση της οργανικής ουσίας. Παρά την αδιαμφισβήτητη αύξηση της οργανικής ουσίας στην επιφάνεια του εδάφους υπάρχουν έρευνες που υποστηρίζουν ότι το συνολικό όφελος σε ένα μεγαλύτερο βάθος μέχρι 30 εκατοστά, είναι μηδενικό (Spargo et al., 2008). Αυτό που στην ουσία συμβαίνει είναι μια αναδιάταξη της οργανικής ουσίας η οποία συγκεντρώνεται στην επιφάνεια του εδάφους ενώ το υπέδαφος παραμένει φτωχό (Gal et al., 2007). Η αύξηση της οργανικής ουσίας είναι ιδιαίτερα εμφανής στα εδάφη της Νότιας Ευρώπης, όπου από την πολύχρονη κατεργασία η οργανική ουσία είναι στα επίπεδα του 1%, Οολιγόχρονη εφαρμογή ακαλλιέργειας αυξάνει την οργανική ουσία σημαντικά (Φουντάς και άλλοι, 2009).

Τα υπολείμματα αυξάνουν τη διήθηση και μειώνουν εξάτμιση, που γενικά οδηγεί σε καθαρή αύξηση της υγρασίας του εδάφους (Lal and Stewart, 2010). Γενικότερα η αυξημένη κάλυψη του εδάφους με υπολείμματα προκαλεί αύξηση της υγρασίας του εδάφους, μείωση των μέγιστων θερμοκρασιών του εδάφους και αύξηση των ελάχιστων. Οι συνέπειες των επιπτώσεων της θερμοκρασίας και της υγρασίας από την κάλυψη υπολειμμάτων δεν είναι ιδιαίτερα ξεκάθαρες. (Η θερμοκρασία που υπεισέρχεται εδώ δεν είναι μέρος της έρευνας, οπότε μπορεί να διαγραφεί) Όμως όλοι οι παράγοντες εξαρτώνται από τις αλληλεπιδράσεις των μεταβαλλόμενων συνθηκών του μικροκλίματος του εδάφους με άλλους παράγοντες (τύπος εδάφους, το κλίμα, το είδος των καλλιεργειών). Σκοπός της εργασίας είναι να μελετήσει τις επιπτώσεις την απόληψης όλης της βιομάζας για παραγωγή ενέργειας στο έδαφος.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Το 1996 εγκαταστάθηκε στο αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας ένα πείραμα σύγκρισης πέντε κατεργασιών του εδάφους. Οι μέθοδοι κατεργασίας που δοκιμάστηκαν ήταν:

1. Συμβατική κατεργασία: περιελάμβανε όργωμα σε βάθος 25-30 cm και προετοιμασία της σποροκλίνης με δισκοσβάρνα ή καλλιεργητή .
2. Μειωμένη κατεργασία Ι με χρήση βαρύ καλλιεργητή (ΒΚ): Πρωτογενής κατεργασία με ένα πέρασμα με βαρύ καλλιεργητή σε βάθος 20-25 cm. Προετοιμασία της σποροκλίνης με δισκοσβάρνα ή ελαφρύ καλλιεργητή σύμφωνα με τις ανάγκες.
3. Μειωμένη κατεργασία ΙΙ με χρήση περιστροφικού καλλιεργητή (ΠΚ) :Ένα πέρασμα με περιστροφικό καλλιεργητή σε βάθος 12-15 cm.
4. Μειωμένη κατεργασία ΙΙΙ – Αρχικά η κατεργασία γίνονταν με χρήση δισκοσβάρνας (αβαθής κατεργασία) και τα τελευταία έτη αντικαταστάθηκε για τις εαρινές καλλιέργειες από κατεργασία σε λωρίδες. Η κατεργασία σε λωρίδες έγινε με χρήση ενός σύνθετου μηχανήματος που σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε στο Εργ. Γεωργ. Μηχανολογίας του Π.Θ. Το μηχάνημα αυτό κατεργάζεται λωρίδες εδάφους πλάτους 30 cm και σε βάθος 25 cm αξιοποιώντας ένα συνδυασμό αβαθών και βαθέων υνιών ακολουθούμενων από στελέχη φρέζας για ταυτόχρονη προετοιμασία της σποροκλίνης.
5. Ακαλλιέργεια (Α). Απ' ευθείας σπορά στην ακατέργαστη επιφάνεια με συμβατικές σπαρτικές μηχανές. Η μεταχείριση υποδιαιρέθηκε σε δύο υπο-

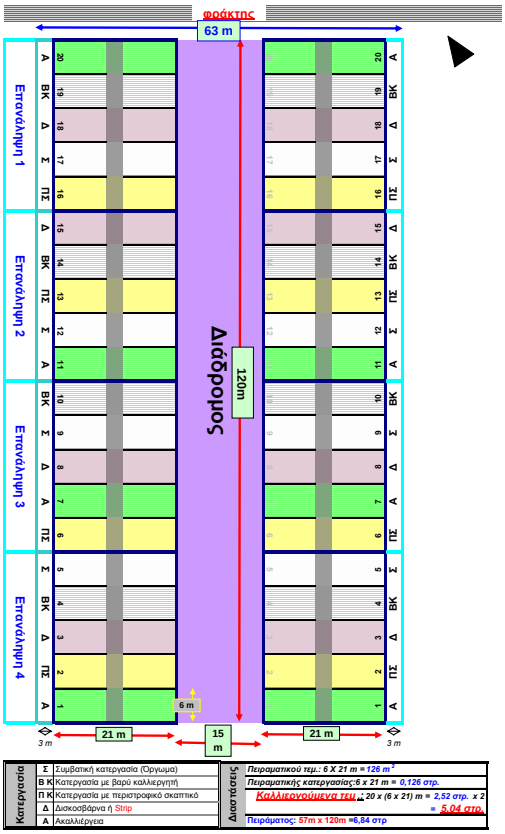
μεταχειρίσεις: Ακαλλιέργεια με διατήρηση των φυτικών υπολειμμάτων στην επιφάνεια του εδάφους (Am) και Ακαλλιέργεια με απομάκρυνση των φυτικών υπολειμμάτων από την επιφάνεια του εδάφους (Α). Τα φυτρωμένα ζιζάνια καταστρέφονταν με εφαρμογή glyphosate λίγο πριν ή αμέσως μετά τη σπορά.

Το πειραματικό σχέδιο φαίνεται στο Σχήμα 1. Στη διάρκεια των ετών εφαρμόστηκαν διάφορες αμειψισπορές με κύριο χαρακτηριστικό τη διατήρηση όλων των φυτικών υπολειμμάτων στο χωράφι σε πολλές περιπτώσεις ακόμα και όλης της καλλιέργειας. Κατά τη χειμερινή περίοδο του καλλιεργητικού έτους 2011-12, το δεξιό τμήμα καλλιεργήθηκε με σιτάρι ενώ το αριστερό έμεινε ακαλλιέργητο. Στην εαρινή περίοδο, στο αριστερό σπάρθηκε ηλίανθο ενώ στο δεξιό, μετά την συγκομιδή του σιταριού, επίσπορη σόγια. Στο πέμπτο χρόνο του πειράματος έγινε δειγματοληψία του εδάφους και μετρήθηκε η οργανική ουσία. Το 2012 έγινε νέα δειγματοληψία εδάφους από δύο βάθη (0-15 και 15-30 εκατοστά) προκειμένου να ελεγχθεί η κατάστασή του. Οι αναλύσεις της οργανικής ουσίας έγιναν στο Εργαστήριο Εδαφολογίας του ΤΕΙ Λάρισας.

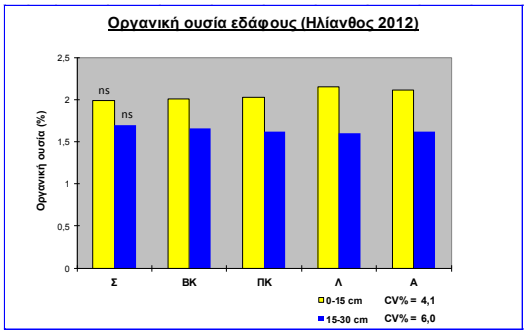
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Η διατήρηση των φυτικών υπολειμμάτων αύξησε την οργανική ουσία στη συμβατική κατεργασία αλλά πολύ περισσότερο στην ακαλλιέργεια. Σε μετρήσεις το 2012 διαπιστώθηκε ότι η οργανική ουσία έφτασε σε όλες τις μεταχειρίσεις γύρω στο 2% από 1% που ήταν στην αρχή. Στο Σχήμα 2 φαίνεται η περιεκτικότητα του εδάφους σε οργανική ουσία για τα δύο βάθη δειγματοληψίας στο ένα τμήμα του αγρού που καλλιεργήθηκε με ηλίανθο. Παρότι οι διαφορές δεν είναι στατιστικώς σημαντικές, στα 0-15 cm, προκύπτει μια τάση για αύξηση της οργανικής ουσίας καθώς ελαττώνεται η εντατικότατα της κατεργασίας. Αντίθετη είναι η τάση για το μεγαλύτερο βάθος των 15-30 cm όπου το όργωμα με την ανάμιξη των εδαφικών στρωμάτων προκαλεί μια ομογενοποίηση της περιεκτικότητας σε οργανική ουσία ενώ στις μεταχειρίσεις που δεν αναστρέφεται το έδαφος η οργανική ουσία παραμένει στην επιφάνεια. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η μικρή διαφορά της Ο.Ο. της ακαλλιέργειας από τις άλλες μεταχειρίσεις αποδίδεται στη μικρή παραγωγή που είχε η μεταχείριση αυτή τα προηγούμενα έτη. Ενώ κατά την έναρξη του πειράματος το 1996 η Ο.Ο ήταν 1% μετά από 15 έτη συνεχούς ενσωμάτωσης των υπολειμμάτων των καλλιεργειών σταθεροποιήθηκε κοντά στο 2%. Αλλά οι εισροές οργανικού υλικού ήταν πολύ περιορισμένες στην ακαλλιέργεια και περιορισμένες στις μεταχειρίσεις με δισκοσβάρνα και λιγότερο με περιστροφικό καλλιεργητή.

Στο Σχήμα 3 φαίνεται η ικανότητα του ακαλλιέργητου εδάφους να διατηρεί υψηλότερο ποσοστό υγρασίας στην επιφάνεια γεγονός που μπορεί να βοηθήσει το φύτρωμα της καλλιέργειας, ιδίως σε περιόδους ξηρασίας, υπό την προϋπόθεση βέβαια ότι ο σπόρος έχει τοποθετηθεί στο σωστό βάθος και έχει σκεπαστεί με χώμα, κάτι που όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως δεν καταφέρνουν οι συμβατικές μηχανές σποράς.



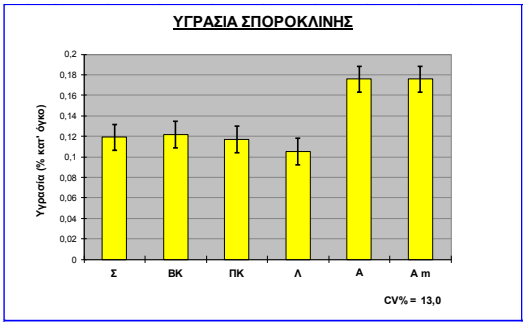
Σχήμα 1. Πειραματικό σχέδιο: Πειραματικός αγρός (αρδευόμενος στο Αγρόκτημα του Π.Θ.) για τη σύγκριση πέντε μεθόδων κατεργασίας εδάφους σε συνδυασμό με δύο συστήματα αμειψισποράς



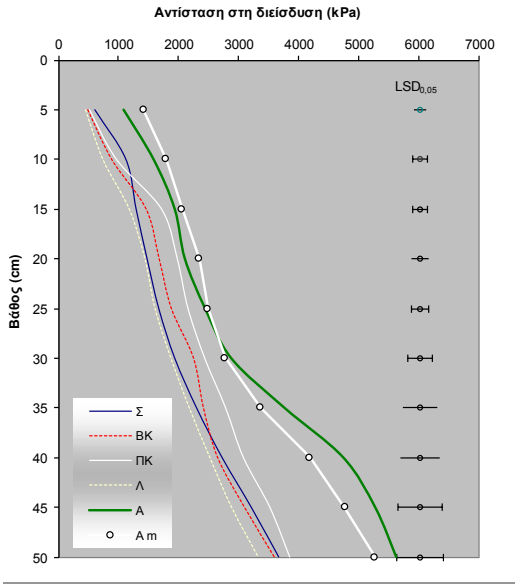
Σχήμα 2. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης της οργανικής ουσίας του εδάφους για τις πέντε μεθόδους κατεργασίας του εδάφους σε δυο βάθη δειγματοληψίας. Σ = συμβατική κατεργασία, ΒΚ = μειωμένη κατεργασία με βαρύ καλλιεργητή, ΠΚ = μειωμένη κατεργασία με περιστροφικό καλλιεργητή, Λ = κατεργασία σε λωρίδες, Α = ακαλλιέργεια.

Στο Σχήμα 4 απεικονίζεται η αντίσταση του εδάφους στην διείσδυση σε ένα βάθος 50 cm για τις έξι μεθόδους κατεργασίας στις 21/5/12. Όπως διαπιστώνεται, στην ακαλλιέργεια το έδαφος παρουσιάζει υψηλές τιμές αντίστασης οι οποίες γίνονται ακόμη μεγαλύτερες κάτω από το βάθος των

30 cm. Η συμπεριφορά αυτή πιθανόν να σχετίζεται με διαφορές στα επίπεδα υγρασίας του εδάφους για τα οποία η στατιστική επεξεργασία δεν έχει ακόμη προχωρήσει. Το όργωμα και η κατεργασία σε λωρίδες παρουσίαζαν τις χαμηλότερες τιμές. Να σημειωθεί εδώ ωστόσο ότι στην μεταχείριση της κατεργασίας σε λωρίδες η δειγματοληψία γίνονταν πάνω στη γραμμή σποράς η οποία βρίσκεται στο κέντρο της κατεργασμένης λωρίδας.

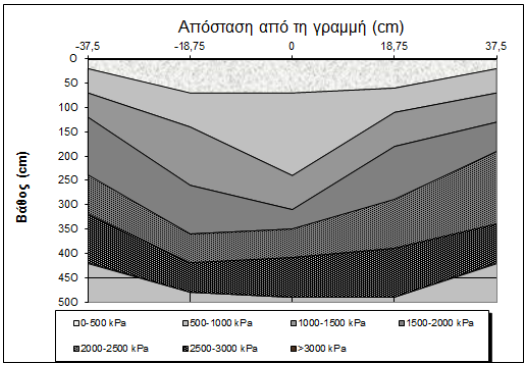


Σχήμα 3. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης της υγρασίας του εδάφους στη περιοχή της σποροκλίνης τρεις ημέρες μετά τη σπορά για τις έξι μεθόδους κατεργασίας του εδάφους Τα σύμβολα ίδια με το Σχήμα 2.

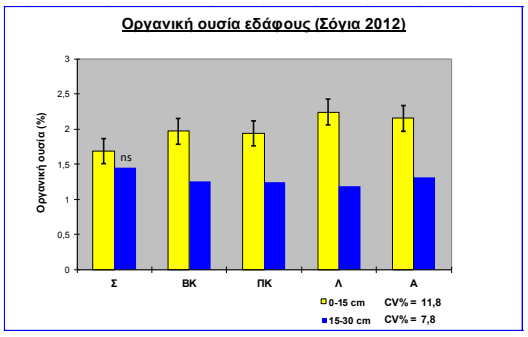


Σχήμα 4. Αντίσταση του εδάφους στη διείσδυση για τις έξι μεθόδους κατεργασίας του εδάφους στις 21/5/12. Τα σύμβολα ίδια με το Σχήμα 2.

Το έδαφος στην ενδιάμεση ακατέργαστη περιοχή μεταξύ των λωρίδων σαφώς και παρουσίαζε υψηλότερη συμπίεση και αυτό φαίνεται στο Σχήμα 5 που παρουσιάζει ένα κατακόρυφο προφίλ του εδάφους ως προς τη γραμμή σποράς. Στο Σχήμα 6 φαίνεται η περιεκτικότητα του εδάφους σε οργανική ουσία για τα δύο βάθη δειγματοληψίας στο τμήμα του πειράματος που καλλιεργήθηκε με σόγια. Παρουσιάζεται και εδώ η τάση που διαπιστώθηκε στην αμειψισπορά Α με τις διαφορές ωστόσο να είναι πιο χαρακτηριστικές. Επιπλέον οι διαφορές αυτή τη φορά είναι στατιστικώς σημαντικές. Στα 0-15 cm, φαίνεται μια αύξηση της οργανικής ουσίας καθώς ελαττώνεται η εντατικότατα της κατεργασίας. Σε μεγαλύτερο βάθος 15-30 cm η τάση είναι αντίθετη. Το όργωμα παρουσιάζει υψηλότερα επίπεδα οργανικής ουσίας σε σχέση με τις υπόλοιπες μεθόδους. Αυτό οφείλεται στην αναστροφή του εδάφους που συμβαίνει μόνο στη συγκεκριμένη μεταχείριση, δράση η οποία ενσωματώνει την οργανική ουσία στα βαθύτερα στρώματα του εδάφους. Το Σχήμα 7 απεικονίζει την αντίσταση του εδάφους στην διείσδυση στις 29/6/12 για τις έξι μεθόδους κατεργασίας. Το όργωμα και η κατεργασία σε λωρίδες εμφανίζουν μια ιδιαίτερα χαλαρή στοιβάδα εδάφους μέχρι και τα 35-40 cm περίπου. Αντίθετα, στα δυο συστήματα ακαλλιέργειας το έδαφος είναι συμπιεσμένο μέχρι τα 30 cm. Παρατηρείται επίσης ότι στην περίπτωση της εδαφοκάλυψης η συμπίεση είναι μεγαλύτερη. Στην κατεργασία σε λωρίδες η δειγματοληψία γίνονταν πάνω στη γραμμή σποράς η οποία βρίσκεται στο κέντρο της κατεργασμένης λωρίδας. Το έδαφος στην ενδιάμεση ακατέργαστη περιοχή μεταξύ των λωρίδων παρουσίαζε υψηλότερη συμπίεση παρόμοια με το Σχήμα 5 .

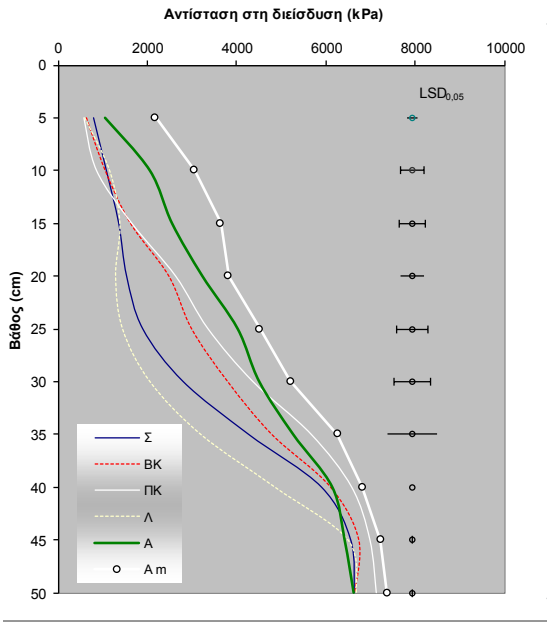


Σχήμα 5. Κατακόρυφο προφίλ της αντίστασης του εδάφους στη διείσδυση για τη μέθοδο της κατεργασίας σε λωρίδες. Οι περιοχές απεικονίζουν το πλήθος των τιμών που περιλαμβάνονται μεταξύ των αντίστοιχων κλάσεων. Ο άνω άξονας Χ δείχνει την απόσταση δεξιά και αριστερά από το θέση 0 που βρίσκεται η γραμμή της καλλιέργειας.



Σχήμα 6. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης της οργανικής ουσίας του εδάφους για τις πέντε

μεθόδους κατεργασίας του εδάφους σε δυο βάθη δειγματοληψίας. Τα σύμβολα ίδια με το Σχήμα 2.



Σχήμα 7. Αντίσταση του εδάφους στη διείσδυση για τις έξι μεθόδους κατεργασίας του εδάφους στις 29/6/12. Τα σύμβολα ίδια με το Σχήμα 2.

4. ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η εργασία αυτή προέκυψε από στοιχεία που συγκεντρώθηκαν στο πλαίσιο προγράμματος ΘΑΛΗΣ «Φιλική προς το περιβάλλον παραγωγή βιομάζας» που συν-χρηματοδοτήθηκε από την ΕΕ (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και Εθνική Χρηματοδότηση στο πλαίσιο του προγράμματος «Εκπαίδευση και Διαρκής Εκπαίδευση» του Εθνικού Στρατηγικού Πλαισίου Ανάπτυξης (ΕΣΠΑ) Πρόγραμμα ΘΑΛΗΣ: Επενδύοντας στη Κοινωνία της Γνώσης μέσω του Ευρωπαϊκού Κοινωνικού Ταμείου

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τα αποτελέσματα που παρουσιάστηκαν γίνεται σαφές ότι η διατήρηση των φυτικών υπολειμμάτων στο χωράφι σε συνδυασμό με μειωμένη κατεργασία ή ακαλλιέργεια αυξάνουν την οργανική ουσία του εδάφους. Η διατήρηση των φυτικών υπολειμμάτων περιορίζει την εξάτμιση του νερού και διατηρεί υψηλότερη υγρασία στο έδαφος την άνοιξη. Η ακαλλιέργεια όπως και η μειωμένη κατεργασία προκαλούν αυξημένη συμπίεση του εδάφους.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Arshad, M.A. Franzluebbers, A.J. and Azooz, R.H. 1999. Components of surface soil structure under conventional and no-tillage in northwestern Canada, Soil and Tillage Research, Vol 53(1)41-47

Chan, K.Y., Heenan, D.P. and Oates A. (2002). Soil carbon fractions and relationship to soil quality under different tillage and stubble management, Soil and Tillage Research, Vol63(3-4) 133-139.

Gal A., Tony J. Vyn, Erika Micheli, Eileen J. Kladivko, William W. McFee. 2007. Soil carbon and nitrogen accumulation with long-term no-till versus mouldboard plowing overestimated with tilled-zone sampling depths. Soil & Tillage Research 96 42–51

Gomez, E., Ferreras, L., Toresani, S., Ausilio, A. and Bisaro, V. (2001). Changes in some soil properties in a Vertic Argiudoll under short-term conservation tillage, Soil and Tillage Research, Vol.61(3-4)179-186

Larney, F.J. and Lindwall, C.W., 1995. Rotation and tillage effects on available soil water for winter wheat in a semi-arid environment, Soil and Tillage Research, Vol.36(3-4) 111-127

LIFE-Soil Sustainability (So.S.) 2009-2012, Organic Matter decline, [ONLINE], Available from: http://www.lifesos.eu/index.php/el/impairment-organic-matter [Accessed 19th September 2012]

Martins R.M., Cora J.E., Jorge F.R., Marcelo A.V. 2009. Crop type influences soil aggregation and organic matter under no-tillage. Soil & Tillage Research 104 (1)22–29

McLaughlin, N.B. Gregorich, E.G. Dwyer, L.M. and Ma, B.L., 2002. Effect of organic and inorganic soil nitrogen amendments on mouldboard plow draft, Soil and Tillage Research, Vol 64(3-4) 211-219

Onweremadu E.U., V.N. Onyia, M.A.N. Anikwe. 2007. Carbon and nitrogen distribution in water-stable aggregates under two tillage techniques in Fluvisols of Owerri area, southeastern Nigeria. Soil & Tillage Research 97 (2) 195–206

Reeves, D.W., 1997. The role of soil organic matter in maintaining soil quality in continuous cropping systems, Soil and Tillage Res., Vol.43(1-2)131-167

Simon T., M. Javurek, O. Mikanova, M. Vach. 2009. The influence of tillage systems on soil organic matter and soil hydrophobicity. Soil & Tillage Research 105 (1) 44–48

SoCo Project Team. 2009. Addressing soil degradation in EU agriculture: relevant processes, practices and policies Report on the project 'Sustainable Agriculture and Soil Conservation (SoCo)' (Louwagie G., Hubertus St. and Burrell G.A. editors) http://eusoils.jrc.ec.europa.eu/esdb_archive/eusoils_docs/other/EUR23767.pdf

Spargo J.T., Marcus M. Alley, Ronald F. Follett, James V. Wallace. 2008. Soil carbon sequestration with continuous no-till management of grain cropping systems in the Virginia coastal plain. Soil & Tillage Research 100 (2) 133–140

Φουντάς Σπ., Μπουλουλής Κ., Παγάνης Π. Καβαλάρης Χρ., Γέμτος Θ.Α., Νάνος Γ., Παρασκευόπουλος Α. Γαλάνης Μ., 2009. Σύγκριση Διαχείρισης Ζιζανιοχλωρίδας στη Ελιά με Κατεργασία του Εδάφους, Μηχανική Καταστροφή και Χημική Ζιζανικτονία. Γεωργία και Κτηνοτροφία τεύχος 1 σελίδες 34-37.

8^{Ο} ΕΘΝΙΚΟ ΣΥΝΕΔΡΙΟ ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ

ΥΔΑΤΙΚΟΙ ΠΟΡΟΙ

ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΒΙΟΣΤΕΡΕΩΝ ΣΕ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟ ΜΕ ΕΛΛΕΙΜΜΑΤΙΚΗ ΑΡΔΕΥΣΗ ΣΕ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΥ ΦΥΤΟΥ

Μαρία Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη[1], Χρήστος Νάκας[1], Δημήτριος Δημάκας[1]
[1]Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Οδός Φυτόκου, Νέα Ιωνία Μαγνησίας, Τ.Κ. 38446
msak@uth.gr, cnakas@uth.gr, dimakas@uth.gr

Στην παρούσα εργασία μελετάται η επίδραση της εφαρμογής βιοστερεών σε καλλιέργεια γλυκού σόργου. Θεωρώντας το γλυκό σόργο ως πιθανή εναλλακτική καλλιέργεια για την παραγωγή βιομάζας και βιοαιθανόλης στην Ελλάδα στο προσεχές μέλλον, η παρούσα εργασία επικεντρώνεται στην παραγωγή βιομάζας και στο ύψος των φυτών. Η επίδραση των βιοστερεών στην καλλιέργεια του γλυκού σόργου ερευνήθηκε κατά τα έτη 2009 και 2010 στο Αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας. Το πειραματικό σχέδιο ήταν το τυχαιοποιημένο σχέδιο σε ομάδες με 6 μεταχειρίσεις και 3 επαναλήψεις. Οι μεταχειρίσεις περιλάμβαναν εφαρμογή βιοστερεών με δόση άρδευσης ίση με το 80% και 60% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής, εφαρμογή ανόργανου λιπάσματος με δόση άρδευσης ίση με το 80% και 60% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής και μάρτυρες με δόση άρδευσης ίση με το 80% και 60% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής.

Τα αποτελέσματα αυτής της μελέτης έδειξαν ότι η εφαρμογή των βιοστερεών θα μπορούσε να αντικαταστήσει την εφαρμογή των ανόργανων λιπασμάτων με καλύτερα ή τα ίδια αποτελέσματα στην παραγωγή βιομάζας και ότι πολύτιμο αρδευτικό νερό μπορεί να εξοικονομηθεί.

Λέξεις κλειδιά: βιοστερεά, ελλειμματική άρδευση, ενεργειακά φυτά, βιομάζα.

APPLICATION OF BIOSOLIDS COMBINED WITH DEFICIT IRRIGATION TO ENERGY CROP

Maria Sakellariou-Makrantonaki[1], Christos Nakas[1], Dimitrios Dimakas`
[1]Department of Agriculture Crop Production and Rural Environment, School of Agricultural Sciences, University of Thessaly, Fytokou Street, N. Ionia, GR-38446, Greece
msak@uth.gr, cnakas@uth.gr, dimakas@uth.gr

The effects of biosolids application to sweet sorghum crop were examined in a field work in 2009 and 2010 at the farm of the University of Thessaly, in Velestino, Magnesia, Central Greece. Considering sweet sorghum as a possible alternative crop for biomass and bioethanol production in Greece in the near future, the present work focuses on the biomass productivity and the height of the plants of this crop as affected by the application of biosolids accompanied by deficit irrigation. Six treatments with three replications were organized in a randomized complete block design as follows. The treatments involved the application of biosolids with irrigation dose equal to the 80% and 60% of the daily evapotranspiration, application of inorganic fertilizer with irrigation dose equal to the 80% and 60% of the daily evapotranspiration and controls with irrigation dose equal to the 80% and 60% of the daily evapotranspiration

The results of this study showed that biosolids application could replace the inorganic fertilizers application with better or the same results in biomass producti on and that valuable irrigation water can be saved under deficit irrigation.

Key words: biosolids, deficit irrigation, energy crop, biomass.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα επεξεργασμένα αστικά απόβλητα ή αλλιώς βιοστερεά είναι ένα από τα τελευταία προϊόντα της επεξεργασίας των αστικών αποβλήτων στους βιολογικούς καθαρισμούς. Συνήθως περιέχουν υψηλά επίπεδα οργανικής ουσίας (40-70%) και είναι πλούσια σε άζωτο (N) και φώσφορο (P), τα οποία είναι στοιχεία απαραίτητα για την ανάπτυξη των φυτών. Οι ευεργετικές ιδιότητες των βιοστερεών σαν εδαφοβελτιωτικά είναι γενικότερα αναγνωρισμένες.

Όταν προστίθενται στο έδαφος, αυξάνουν την οργανική ουσία του εδάφους, μειώνουν το ειδικό του βάρος και αυξάνουν την ικανότητα συγκράτησης του νερού (Ippolito et al., 2012, Khaleel et al., 1981, Powers et al., 1975). Με την εφαρμογή των βιοστερεών αυξάνεται το πορώδες του εδάφους δηλαδή βελτιώνεται η δομή του, με αποτέλεσμα να εμποδίζεται η δημιουργία επιφανειακής κρούστας, να μειώνονται τα αποτελέσματα της συμπίεσης του εδάφους (Pagliai and Antisari, 1993) και να βελτιώνεται ο αερισμός και η διείσδυση των φυτικών ριζών στο έδαφος (USEPA, 1999). Επίσης, το νερό παραμένει στο ριζόστρωμα λόγω της μείωσης της διήθησης, της εξάτμισης και της απορροής (USEPA, 1999).

Τα βιοστερεά επίσης αποτελούν σημαντική πηγή θρεπτικών στοιχείων για τις καλλιέργειες. Τα μακροθρεπτικά στοιχεία όπως το άζωτο (N) και ο φώσφορος (P) που είναι απαραίτητα για τις καλλιέργειες βρίσκονται σε ικανοποιητικές ποσότητες, ενώ το τρίτο στοιχείο το κάλιο (K) βρίσκεται σε χαμηλές ποσότητες. Τα βιοστερεά

μπορούν να αποτελέσουν επίσης πηγή μικροθρεπτικών στοιχείων όπως ο σίδηρος (Fe), το βόριο (B), ο χαλκός (Cu), το νικέλιο (Ni), καθώς και άλλων στοιχείων που είναι απαραίτητα για την ανάπτυξη των φυτών (Epstein, 2003). Επιπρόσθετα, τα φυτά μπορούν να δεσμεύσουν από το έδαφος πιο εύκολα τα θρεπτικά στοιχεία και το νερό. Σε πολλές περιπτώσεις αυξάνεται η παραγωγή και η ποιότητα των φυτών.

Την τελευταία δεκαετία η επιστημονική κοινότητα έχει αρχίσει να ενδιαφέρεται για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας όπως το βιοντήζελ και η βιοαιθανόλη σε μια προσπάθεια να αντικατασταθούν τα παραδοσιακά καύσιμα και να μειωθούν οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα. Η πολιτική της Ευρωπαϊκής Ένωσης ορίζει ότι μέχρι το έτος 2020, το μερίδιο της ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές σε όλες τις μορφές μεταφορών πρέπει να έχει ποσοστό τουλάχιστον 10% της τελικής κατανάλωσης ενέργειας στις μεταφορές σε κάθε μέλος κράτος (Οδηγία 2009/28/ΕΚ).

Οι καλλιέργειες μπορούν να παράγουν έλαιο για βιοντήζελ, ζυμώσιμους υδρογονάνθρακες για αιθανόλη ή ξηρή ουσία για καύση και πυρόλυση. Ανάμεσα στις μονοετείς ενεργειακές καλλιέργειες που μπορούν να παράγουν σταθερές ποσότητες βιομάζας το σόργο έχει σημαντικό δυναμικό παραγωγής ακόμα και σε καταστάσεις περιορισμένης διαθεσιμότητας νερού (Cosentino, 1996, Foti et al., 1996). Το γλυκό σόργο είναι πιο κατάλληλο για την παραγωγή βιοαιθανόλης καθώς έχει μεγάλη παραγωγή σε ζυμώσιμους υδρογονάνθρακες (Dolciotti et al., 1998, Whitfield et al., 2012).

Θεωρώντας το γλυκό σόργο ως πιθανή εναλλακτική καλλιέργεια για την παραγωγή βιομάζας και βιοαιθανόλης στην Ελλάδα στο προσεχές μέλλον, σκοπός της εργασίας είναι να διερευνηθεί η επίδραση της εφαρμογής των βιοστερεών σε καλλιέργεια γλυκού σόργου σε συνδυασμό με ελλειμματική άρδευση, στην παραγωγή βιομάζας και στο ύψος των φυτών.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Η επίδραση της εφαρμογής των βιοστερεών στην καλλιέργεια γλυκού σόργου μελετήθηκε στο Αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας στο Βελεστίνο τα έτη 2009 και 2010. Το έδαφος είναι αργιλοπηλώδες και κατατάσσεται σαν Typic Xerochrept. Κάθε πειραματικό τεμάχιο είχε επιφάνεια 32 τ.μ. και απόσταση μεταξύ των τεμαχίων 1,5 m. Το πειραματικό σχέδιο ήταν το τυχαιοποιημένο σχέδιο σε ομάδες με 6 μεταχειρίσεις και 3 επαναλήψεις όπως φαίνεται παρακάτω:

α) Εφαρμογή βιοστερεών με δόση άρδευσης ίση με το 80% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής (B80).

β) Εφαρμογή ανόργανου λιπάσματος με δόση άρδευσης ίση με το 80% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής (F80).

γ) Μάρτυρας με δόση άρδευσης ίση με το 80% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής (C80).

δ) Εφαρμογή βιοστερεών με δόση άρδευσης ίση με το 60% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής (B60).

ε) Εφαρμογή ανόργανου λιπάσματος με δόση άρδευσης ίση με το 60% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής (F60).

στ) Μάρτυρας με δόση άρδευσης ίση με το 60% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής (C60).

Τα βιοστερεά παρήχθησαν στην μονάδα Βιολογικού Καθαρισμού του Δήμου Βόλου. Μετά από την αερόβια και αναερόβια επεξεργασία των αστικών αποβλήτων, την πάχυνσή τους και το πέρασμά τους από την ταινιοφιλτροπρέσα, η ιλύς υπέστη αποξήρανση και αποστείρωση με τη μέθοδο της υπέρυθρης ακτινοθερμικής επεξεργασίας σε ειδικό επεξεργαστή. Η υπέρυθρη ακτινοθερμική επεξεργασία (IRP) είναι μια μέθοδος που επιτυγχάνει άμεση θερμική διείσδυση και έχει την ικανότητα να μεταφέρει μεγάλη θερμική ενέργεια. Η ακτινοβολία αυτή αφαιρεί την υγρασία και καταστρέφει τα παθογόνα που έχει η ιλύς.

Μετά την παραπάνω επεξεργασία τα βιοστερεά είχαν λιγότερο από 10% υγρασία και μη ανιχνεύσιμους παθογόνους μικροοργανισμούς. Στη συνέχεια τα βιοστερεά μεταφέρθηκαν στον πειραματικό αγρό και ενσωματώθηκαν στο έδαφος μια εβδομάδα πριν τη σπορά σε αναλογία 500 kg ανά στρέμμα. Τα βιοστερεά εφαρμόστηκαν στον αγρό μια φορά το έτος 2009 και μια φορά το έτος 2010. Οι τιμές συγκέντρωσης των βαρέων μετάλλων στα βιοστερεά και στο έδαφος ήταν χαμηλή και εντός των ορίων που ορίζει η σχετική ΚΥΑ 80568/4225/61 (ΦΕΚ 641/Β/7-08-1991).

Το ανόργανο λίπασμα που προστέθηκε στις άλλες μεταχειρίσεις είχε την ίδια περιεκτικότητα με τα βιοστερεά σε ολικό άζωτο, φώσφορο και κάλιο (21kg N/στρ., 8kg P/στρ., 0,8 kg K/στρ.).

Ολόκληρη η ποσότητα του φωσφόρου και του καλίου, μαζί με το 25% του αζώτου εφαρμόστηκε σαν βασική λίπανση μια εβδομάδα πριν τη σπορά. Το υπόλοιπο άζωτο εφαρμόστηκε με υδρολίπανση 20-30 ημέρες μετά τη σπορά.

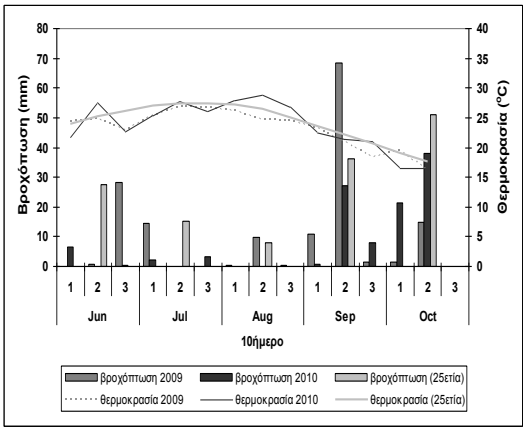
Η σπορά της καλλιέργειας έγινε στις αρχές Ιουνίου με υβρίδιο γλυκού σόργου (Sorghum bicolor (L.) Moench x Sorghum bicolor (L.) Moench 'Sugargraze'), με αναλογία 12000 φυτά ανά στρέμμα. Κάθε πειραματικό τεμάχιο είχε 6 σειρές με απόσταση μεταξύ των σειρών 0,78 m. Μετά το φύτρωμα εφαρμόστηκαν οι ίδιες καλλιεργητικές εργασίες σε όλες τις μεταχειρίσεις. Σε αυτές περιλαμβάνονταν τρία χειρονακτικά σκαλίσματα για τον έλεγχο των ζιζανίων.

Στην καλλιέργεια εφαρμόστηκε επιφανειακή στάγδην άρδευση. Οι αγωγοί εφαρμογής που χρησιμοποιήθηκαν ήταν φτιαγμένοι από πολυαιθυλένιο με 20 mm ονομαστική διάμετρο. Οι σταλακτήρες ήταν αυτορυθμιζόμενοι και αυτοκαθαριζόμενοι (Netafim™) με απόσταση ανάμεσά τους 0,80 m και παροχή 2,3 L h^{-1}. Η εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας υπολογίστηκε βάσει του φυτικού συντελεστή (Allen et al., 1998) και της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς με τη μέθοδο Penman-Monteith (Allen et al., 1998). Τα

μετεωρολογικά δεδομένα καταγράφονταν από αυτόματο μετεωρολογικό σταθμό (MetosCompact, της εταιρείας Pessl Instruments GmbH) ο οποίος ήταν εγκατεστημένος σε καλλιέργεια αναφοράς, ενώ ο σταθμός είχε απόσταση περίπου 50 m από την καλλιέργεια. Συγκεκριμένα, ανά 12 min, καταγράφονταν η θερμοκρασία αέρος (°C), η σχετική υγρασία αέρος (%), η βροχόπτωση (mm), η ταχύτητα του ανέμου σε ύψος 2 m από την επιφάνεια του εδάφους (m s^{-1}) και τέλος η ηλιακή ακτινοβολία (W m^{-2}). Το νερό που εφαρμόστηκε στην καλλιέργεια ήταν 426 mm για τις μεταχειρίσεις B80, F80, C80 και 359 mm για τις μεταχειρίσεις B60, F60 και C60.

Η παραγωγή προσδιορίστηκε χρησιμοποιώντας μέσους όρους της βιομάζας (υπέργεια). Η βιομάζα μετρήθηκε με καταστροφική δειγματοληψία του συνόλου των φυτών των μεσαίων σειρών των μεταχειρίσεων και τη ζύγισή τους σε ζυγό ακριβείας. Σε αυτά τα φυτά μετρήθηκε επίσης το ύψος και υπολογίστηκε ο μέσος όρος των τιμών.

Το τυπικό κλίμα της περιοχής ακολουθεί το Μεσογειακό μοτίβο με ξηρά-θερμά καλοκαίρια και υγρούς-ψυχρούς χειμώνες. Οι ημερήσιες τιμές της θερμοκρασίας και της βροχόπτωσης (Σχήμα 1) καταγράφονταν σε αυτόματο μετεωρολογικό σταθμό ο οποίος βρίσκεται στον πειραματικό αγρό. Η βροχόπτωση κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου του έτους 2009 ήταν 138 mm, το έτος 2010 ήταν 40 mm ενώ η μέση βροχόπτωση των 25 τελευταίων χρόνων ήταν ίση με 87 mm. Η θερμοκρασία των ετών 2009-2010 δεν παρουσίασε διακύμανση σε σχέση με την μέση θερμοκρασία των 25 τελευταίων χρόνων.



Σχήμα 1. Μέσες τιμές θερμοκρασίας και βροχόπτωσης για τα έτη 2009-2010 και των τελευταίων 25 ετών (δεκαήμερα)

Η στατιστική ανάλυση έγινε με τη χρήση του στατιστικού προγράμματος Minitab Statistical Software (a=0,05). Η στατιστική ανάλυση έγινε με τη χρήση του Γενικού Γραμμικού μοντέλου (General Linear Model) και αφού έγινε ανάλυση της παραλλακτικότητας, για τις συγκρίσεις χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος Tukey (Montgomery, 2004).

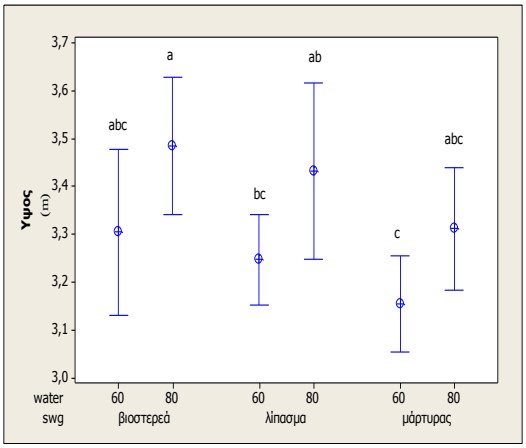
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

3.1. Ύψος φυτών

Στο Σχήμα 2 παρουσιάζεται το διάγραμμα των διαστημάτων εμπιστοσύνης στις διάφορες μεταχειρίσεις, για το ύψος των φυτών του γλυκού σόργου, στο δεύτερο μισό του Σεπτεμβρίου (106η μέρα από τη σπορά), για τα έτη 2009-2010.

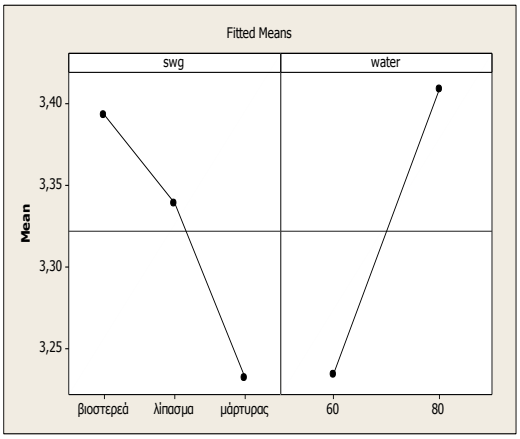
Όπως φαίνεται στο Σχήμα 2, ο μέσος όρος του μέγιστου ύψους, για τα 2 έτη, των μεταχειρίσεων B80, B60, F80, F60, C80 και C60 ήταν 3,48 m, 3,30 m, 3,43 m, 3,27 m, 3,31 m και 3,15 m, αντίστοιχα.

Ως προς το ύψος, οι μεταχειρίσεις B80, F80, C80, και B60 δεν έχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ τους, όπως επίσης και οι μεταχειρίσεις F80, C80, B60 και F60. Η μεταχείριση C60 δεν έχει στατιστικά σημαντικές διαφορές με την C80, B60 και F60. Τέλος η μεταχείριση B80 έχει στατιστικά σημαντικές διαφορές με τις μεταχειρίσεις F60 και C60.



Σχήμα 2. Διάγραμμα των διαστημάτων εμπιστοσύνης για το ύψος των φυτών, στις διάφορες μεταχειρίσεις (οι μέσοι όροι που δεν μοιράζονται το ίδιο γράμμα έχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές)

Στο Σχήμα 3 παρουσιάζεται η κύρια επίδραση που είχε κάθε παράγοντας στο ύψος των φυτών.



Σχήμα 3. Διάγραμμα των κύριων επιδράσεων για το ύψος των φυτών

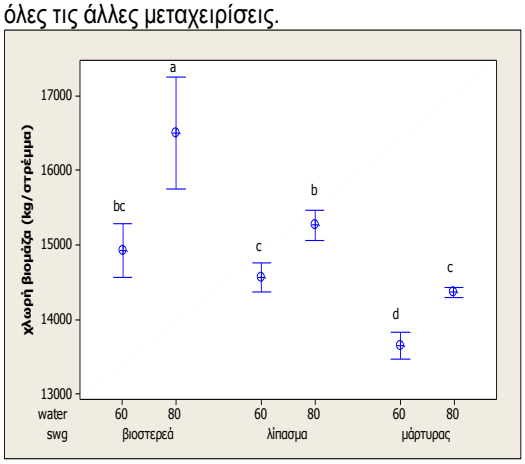
Παρατηρούμε ότι τα βιοστερεά είχαν πιο μεγάλη επίδραση στο ύψος των φυτών από ότι το λίπασμα και ότι η αύξηση της ποσότητας του νερού άρδευσης επέφερε αύξηση του ύψους των φυτών.

3.2. Παραγωγή χλωρής βιομάζας

Στο Σχήμα 4 παρουσιάζεται το διάγραμμα των διαστημάτων εμπιστοσύνης στις διάφορες μεταχειρίσεις, για τη μέγιστη χλωρή βιομάζα των φυτών του γλυκού σόργου, για τα έτη 2009-2010.

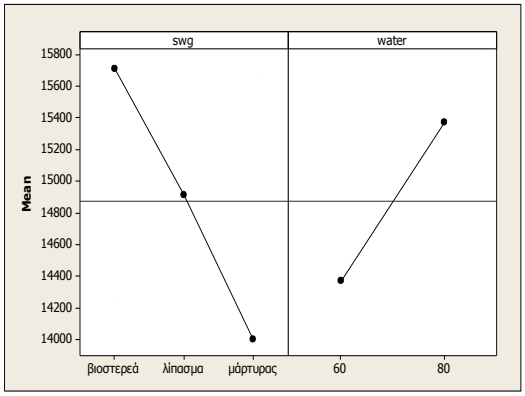
Όπως φαίνεται στο Σχήμα 4, ο μέσος όρος της μέγιστης χλωρής βιομάζας, για τα 2 έτη, του των μεταχειρίσεων B80, B60, F80, F60, C80 και C60 ήταν 16500 kg/στρ., 14920 kg/στρ., 15265 kg/στρ., 14560 kg/στρ., 14363 kg/στρ. και 13643 kg/στρ., αντίστοιχα.

Στο Σχήμα 4 παρατηρούμε ότι, ως προς τη χλωρή βιομάζα, οι μεταχειρίσεις B60, F80 δεν έχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ τους όπως επίσης και οι μεταχειρίσεις B60, C60 και C80. Οι μεταχειρίσεις B80 και C60 έχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές τόσο μεταξύ τους όσο και με όλες τις άλλες μεταχειρίσεις.



Σχήμα 4. Διάγραμμα των διαστημάτων εμπιστοσύνης για τη χλωρή βιομάζα των φυτών, στις διάφορες μεταχειρίσεις (οι μέσοι όροι που δεν μοιράζονται το ίδιο γράμμα έχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές)

Στο Σχήμα 5 παρουσιάζεται η κύρια επίδραση που είχε κάθε παράγοντας στην παραγωγή της χλωρής βιομάζας των φυτών.



Σχήμα 5. Διάγραμμα των κύριων επιδράσεων για τη χλωρή βιομάζα των φυτών

Παρατηρούμε ότι τα βιοστερεά είχαν πιο μεγάλη επίδραση στην παραγωγή χλωρής βιομάζας από ότι το λίπασμα και ότι όσο πιο μεγάλη ήταν η ποσότητα του νερού που δεχόταν η καλλιέργεια τόσο μεγαλύτερη ήταν η επίδραση στην παραγωγή χλωρής βιομάζας των φυτών.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Με βάση τα παραπάνω μπορούμε να συμπεράνουμε ότι η εφαρμογή βιοστερεών σε συνδυασμό με ελλειμματική άρδευση, στην καλλιέργεια γλυκού σόργου, έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή περισσότερης ή ίδιας χλωρής βιομάζας με την εφαρμογή ανόργανου λιπάσματος. Αυτό οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η εφαρμογή βιοστερεών μπορεί να αντικαταστήσει την εφαρμογή ανόργανων λιπασμάτων με ικανοποιητικά αποτελέσματα. Ως γνωστόν η παραγωγή ανόργανων λιπασμάτων καταναλώνει σημαντικά ποσά ενέργειας τα οποία μπορούν να εξοικονομηθούν με την χρήση βιοστερεών.

Άρδευση ίση με το 60% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής σε συνδυασμό με την εφαρμογή βιοστερεών παρήγαγε την ίδια βιομάζα με αυτή που παράχθηκε κάτω από άρδευση ίση με το 80% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής σε συνδυασμό με την εφαρμογή ανόργανου λιπάσματος. Αυτό οδηγεί στο συμπέρασμα ότι ένα μεγάλο ποσοστό αρδευτικού νερού μπορεί να εξοικονομηθεί (20%) και άρα να εξοικονομηθεί ενέργεια.

Η εφαρμογή βιοστερεών είχε μεγαλύτερη επίδραση στο ύψος των φυτών από ότι η εφαρμογή λιπάσματος ενώ η αύξηση της ποσότητας του νερού άρδευσης επέφερε αύξηση του ύψους των φυτών.

Το γλυκό σόργο φαίνεται να είναι μια πολλά υποσχόμενη εναλλακτική καλλιέργεια για την παραγωγή βιοαιθανόλης στην Ελλάδα στο προσεχές μέλλον. Η εφαρμογή βιοστερεών σε συνδυασμό με την ελλειμματική άρδευση μπορεί να μειώσει την εφαρμογή λιπασμάτων και ταυτόχρονα να εξοικονομήσει πολύτιμο αρδευτικό νερό, οπότε επιτυγχάνεται εξοικονόμηση ενέργειας στη γεωργία.

6. ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα έρευνα έχει συγχρηματοδοτηθεί από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο - ΕΚΤ) και από εθνικούς πόρους μέσω του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» του Εθνικού Στρατηγικού Πλαισίου Αναφοράς (ΕΣΠΑ) – Ερευνητικό Χρηματοδοτούμενο Έργο: Ηράκλειτος ΙΙ. Επένδυση στην κοινωνία της γνώσης μέσω του Ευρωπαϊκού Κοινωνικού Ταμείου.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M., 1998. Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements (Irrigation and drainage paper 56). Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Cosentino, S.L., 1996. Crop physiology of sweet sorghum. Proc. of 1st European Seminar on Sorghum for energy and industry, April 1-3 1996, Tulose, pp. 30–41.

Dolciotti, I., Mambelli, S., Grandi, S., Venturi, G., 1998. Comparison of two Sorghum genotypes for sugar and fiber production. Industrial Crops and Products, 7:265-272.

Epstein, E., 2003. Land Application of Sewage Sludge and Biosolids. CRC Press LLC, Boca Raton, Florida.

Foti, S., Cosentino, S.L., Copani, V., Patane, C. and Guarnaccia, P., 1996. Growth and yield of C4 species for biomass production in Mediterranean environment. Proceedings of 9th European Bioenergy Conference: Biomass for energy and environment, June 1996, Copenhagen, Denmark, pp. 616–621.

Ippolito, J.A., Barbarick, K.A., Paschke, M.W., Brobst, R.B. 2010. Infrequent composted biosolids applications affect semi-arid grassland soils and vegetation. Journal of Environmental Management, 91(5):1123-1130.

Khaleel, R., Reddy K.R. and Overcash, M.R., 1981. Changes in Soil Physical Properties Due to Organic Waste Applications: A Review. J. Environ. Qual., 10:133-141.

Montgomery. D.C., 2004. Design and analysis of experiments, New York, John Wiley.

Pagliai, M., Antisari, L.V., 1993. Influence of waste organic matter on soil micro- and macrostructure. Bioresource Technology, 43(3): 205-213.

Powers, W.L., Wallingford, G.W., Murphy, L.S., 1975. Research status on effects of land application of animal wastes. USEPA, Washington, D.C.

USEPA, 1999. Biosolids Generation, Use, and Disposal in the United States. United States Environmental Protection Agency, Washington, D.C.

Whitfield, M.B., Chinn, M.S., Veal, M.W., 2012. Processing of materials derived from sweet sorghum for biobased products. Industrial Crops and Products, 37(1) :362-375.

ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΕΔΑΦΙΚΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΛΑΜΠΟΚΙΟΥ ΑΡΔΕΥΟΜΕΝΟΥ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΜΕΡΙΚΗΣ ΥΓΡΑΝΣΗΣ ΡΙΖΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ

Βασίλειος Αντωνόπουλος[1], Πανταζής Γεωργίου[2], Εμμανουήλ Λεκάκης[3]
Τομέας Εγγείων Βελτιώσεων, Εδαφολογίας και Γεωργικής Μηχανικής,
Γεωπονική Σχολή Α.Π.Θ. 54124 Θεσσαλονίκη
[1]vasanton@agro.auth.gr, [2]pantaz@agro.auth.gr, [3]elekakis@agro.auth.gr

Η μέθοδος της μερικής ύγρανσης του ριζοστρώματος (Partial Root-zone Drying, PRD), αποτελεί μια τροποποιημένη μέθοδο στάγδην άρδευσης και αφορά στην ύγρανση του ριζοστρώματος μόνο κατά το ήμισυ σε κάθε άρδευση. Στην εργασία διερευνάται η επίδραση της μόνιμης μερικής ύγρανσης του ριζοστρώματος στην κατανομή της εδαφικής υγρασίας και υπολογίζεται η εδαφική υγρασία με τη βοήθεια ενός απλού μοντέλου υδατικού ισοζυγίου και τη χρήση του διπλού φυτικού συντελεστή. Τα πειραματικά δεδομένα συγκεντρώθηκαν σε δύο πειραματικά αγροτεμάχια στο Αγρόκτημα του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης την καλλιεργητική περίοδο του 2009. Τα δύο πειραματικά αγροτεμάχια είχαν διαφορετικές φυσικές και υδραυλικές ιδιότητες. Στο αρδευτικό σύστημα η παροχή των σταλακτήρων ήταν 4 l/h και η ισαποχή μεταξύ τους 50 cm, ενώ η συνολική ποσότητα του νερού που χορηγήθηκε ήταν διαφορετική. Η μέτρηση της εδαφικής υγρασίας γινόταν με αισθητήρες Diviner 2000 τόσο στη γραμμή των φυτών όσο και στη γραμμή άρδευσης. Όπως προέκυψε από τα στατιστικά κριτήρια, οι υπολογισμένες τιμές εδαφικής υγρασίας από την εφαρμογή του μοντέλου ήταν πολύ κοντά στις μετρημένες τιμές που υπολογίζονταν από το ημιάθροισμα των τιμών στις δύο θέσεις.

Λέξεις κλειδιά: Μερική ύγρανση ριζοστρώματος, εδαφική υγρασία, διπλός φυτικός συντελεστής

SOIL WATER SIMULATION IN A FIELD OF MAIZE UNDER PARTIAL ROOT-ZONE DRYING DRIP IRRIGATION

Vassilis Antonopoulos[1], Pantazis Georgiou[2], Emanuel Lekakis[3]
Department of Hydraulics, Soil Science and Agricultural Engineering,
Faculty of Agriculture, Aristotle University, Thessaloniki 54124, Greece
[1]vasanton@agro.auth.gr, [2]pantaz@agro.auth.gr, [3]elekakis@agro.auth.gr

Partial Root zone Drying (PRD) is an innovative irrigation technique which is based on irrigating half of the root zone in row crops. In this study the effects of PRD on soil water distribution of drip-irrigated maize in Northern Greece and the daily soil water balance were estimated. A simple soil water balance model using the equation of water balance component on a daily basis was used. The crop evapotranspiration was estimated using the double crop coefficient. Results were compared with available measurements of soil moisture in the soil profile at the irrigation and plant row using Diviner 2000 sensors during the growing season. The statistical criteria of model results evaluation showed that there was good agreement between the simulated and the measured values of soil water content.

Key words: Fixed partial root-zone drying, soil moisture, dual crop coefficient

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η σύγχρονη αρδευόμενη γεωργία κινείται προς την κατεύθυνση της αποτελεσματικής και αειφορικής χρήσης του νερού που μπορεί να επιτευχθεί με τον προγραμματισμό των αρδεύσεων και τη χρήση καινοτόμων πρακτικών στις μεθόδους άρδευσης.

Η μέθοδος της μερικής ύγρανσης του ριζοστρώματος (Partial Root-zone Drying, PRD), αποτελεί μια τροποποιημένη μέθοδο στάγδην άρδευσης και αφορά στην ύγρανση του ριζοστρώματος μόνο κατά το ήμισυ σε κάθε άρδευση. Η μέθοδος αυτή έχει τη δυνατότητα μειωμένης εφαρμογής αρδευτικού νερού, διατήρησης της σπαργής αλλά και των αποδόσεων τους σε σύγκριση με τις συνήθεις μεθόδους άρδευσης (Kang and Zhang, 2004). Η μέθοδος έχει ερευνηθεί ευρέως σε καλλιέργειες αμπελιού (Dry et al., 2001; Du et al., 2008), δενδρώδεις καλλιέργειες (Kang et al., 2002; Abrisqueta et al., 2008), καλλιέργειες λαχανικών (Zegbe et al., 2004) και φυτών μεγάλης καλλιέργειας (Kang et al., 1998; Kirda et al., 2007; Georgiou et al., 2010; Λεκάκης κ. άλ., 2010; Lekakis et al., 2011). Στις περισσότερες από τις μελέτες αυτές, η στάγδην άρδευση με μερική ύγρανση του ριζοστρώματος βελτίωσε την αποδοτικότητα χρήσης του αρδευτικού νερού σε σχέση με συμβατικές μεθόδους άρδευσης.

Η κατανομή της υγρασίας κατά τη στάγδην άρδευση αποτελεί θέμα μείζονος ενδιαφέροντος καθώς ως μέθοδος άρδευσης μπορεί να δεχτεί πολλούς αυτοματισμούς και να εφαρμοστεί σε διάφορες διατάξεις με ένα εύρος παροχών πάντα προς την κατεύθυνση της εξοικονόμησης του νερού αλλά και των υλικών, σύμφωνα με το συμφέρον του σύγχρονου παραγωγού. Η εφαρμογή της στάγδην άρδευσης σε μεγάλο εύρος καλλιεργειών, εδαφών και περιοχών την έχει κατατάξει ως την πιο υποσχόμενη μέθοδο για χρήση σε συνδυασμό με συνθήκες έλλειψης νερού και μάλιστα με υψηλή συγκέντρωση αλάτων (Ντιούδης κ.

άλ., 2003; Badr and Taalab, 2007; Kalfountzos et al., 2007; Sakellariou-Makrantonaki et al., 2007).

Στην εργασία χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος στάγδην άρδευσης με μόνιμη ύγρανση της μιας πλευράς του ριζοστρώματος (Fixed PRD, FPRD), σε καλλιέργεια καλαμποκιού σε δύο εδάφη του Αγροκτήματος του Α.Π.Θ., κατά τη διάρκεια μιας βλαστικής περιόδου και μελετήθηκαν οι μεταβολές της εδαφικής υγρασίας με μέτρησή της με αισθητήρες τόσο επί της γραμμής των φυτών όσο και επί της γραμμής του αγωγού εφαρμογής της άρδευσης.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1. Περιγραφή περιοχής μελέτης και μετρήσεων

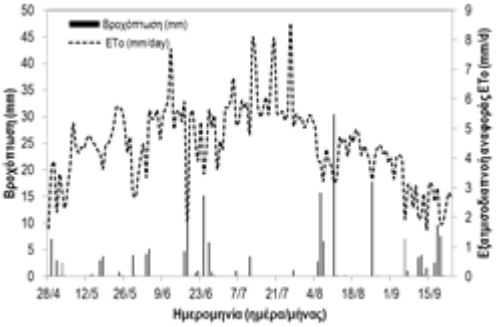
Τα απαραίτητα πειραματικά δεδομένα για την εργασία συγκεντρώθηκαν από πειραματικό αγρό του Αγροκτήματος του Α.Π.Θ. (Γ.Π. 40° 31', Γ.Μ. 22° 58', ΥΨ. 19 m), κατά την καλλιεργητική περίοδο 2009 σε δύο διαφορετικά εδάφη (έδαφος 1 και έδαφος 2). Η μέθοδος άρδευσης που επιλέχθηκε ήταν η επιφανειακή στάγδην άρδευση με παροχή των σταλακτήρων 4 l/hr και ισαποχή 0.5 m. Οι αγωγοί εφαρμογής τοποθετήθηκαν μεταξύ των γραμμών των φυτών και εναλλάξ για να εφαρμοστεί η τεχνική της μερικής διαβροχής. Οι αποστάσεις των αγωγών εφαρμογής ήταν 1.6 m. Στον Πίνακα 1 δίνονται ο χρόνος και το ύψος νερού (mm) κάθε άρδευσης στα δύο εδάφη. Η σπορά του καλαμποκιού έγινε στις 28/4, ενώ η συγκομιδή πραγματοποιήθηκε στο έδαφος 1 στις 11/9 και στο έδαφος 2 στις 23/9.

Πίνακας 1. Χρόνος εφαρμογής και ύψος νερού άρδευσης (mm) στα εδάφη 1 και 2.

Ημερομηνία	Έδαφος 1	Έδαφος 2
9/6/2009	26.04	18.75
17/6/2009	40.63	30.21
26/6/2009	20.00	15.00
3/7/2009	40.00	30.14
9/7/2009	50.07	37.85
17/7/2009	65.14	45.00
24/7/2009	55.00	45.00
31/7/2009	40.00	30.00
7/8/2009	6.88	6.90
ΣΥΝΟΛΟ	343.76	258.54

Τα μετεωρολογικά δεδομένα ελήφθησαν από τον αυτόματο σταθμό του Εργαστηρίου Γενικής και Γεωργικής Υδραυλικής και Βελτιώσεων της Γεωπονικής Σχολής του Α.Π.Θ. σε μικρή απόσταση από τις μεταχειρίσεις. Η βροχόπτωση για το διάστημα από τη σπορά έως τη συγκομιδή ανήλθε σε 192 mm και η εξατμισοδιαπνοή καλλιέργειας υπολογίστηκε ίση προς 620 mm στο έδαφος 1 και 646 mm στο έδαφος 2. Η ημερήσια εξατμισοδιαπνοή υπολογίστηκε από τη συνδυασμένη μέθοδο Penman-Monteith κατά FAO (Allen et al, 1998). Η διακύμανση της εξατμισοδιαπνοής καλλιέργειας αναφοράς και η κατανομή των βροχοπτώσεων για όλη τη βλαστική περίοδο δίνεται στο Σχήμα 1.

Η περιεχόμενη υγρασία στα δύο εδάφη καταγραφόταν καθημερινά κατά τη διάρκεια της βλαστικής περιόδου από αισθητήρες Diviner 2000 (Sentek Pty Ltd, Australia), ανά 0.1 m μέχρι το βάθος του 1 m στο έδαφος 1 και των 70 cm στο έδαφος 2. Οι αισθητήρες ήταν εγκατεστημένοι σε δύο συγκεκριμένες θέσεις σε κάθε έδαφος: στην γραμμή του αγωγού εφαρμογής και πάνω στη γραμμή των φυτών. Οι μετρήσεις βαθμονομήθηκαν με εξισώσεις από τη βιβλιογραφία (Georgiou et al., 2010; Lekakis et al., 2011; Paraskevas et al., 2012).



Σχήμα 1. Κατανομή της βροχόπτωσης και της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς κατά τη διάρκεια της βλαστικής περιόδου 2009.

Ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας (LAI) προσδιορίστηκε με την καταστροφική μέθοδο, ανά δεκαπενθήμερο. Οι ημερήσιες τιμές του LAI ανόδου, μέχρι την πλήρη ανάπτυξη, εκτιμήθηκαν με προσαρμογή της λογιστικής συνάρτησης στις μετρημένες τιμές (Antonopoulos, 2001) και του LAI καθόδου σε πολυωνυμική εξίσωση 2ου βαθμού, μέχρι το τέλος της βλαστικής περιόδου.

Το βάθος του ριζικού συστήματος μετρήθηκε από παρατηρήσεις σε μπάλα εδάφους, ανά δεκαπενθήμερο. Εκτιμήθηκε ότι το βάθος του ριζοστρώματος και στα δύο εδάφη έφτασε το μέγιστο βάθος των 60 cm, 119 ημέρες μετά τη βλάστηση.

Για τον υπολογισμό της υγρασίας στην υδατοϊκανότητα (θ_{FC}) και στο σημείο μόνιμης μάρανσης (θ_{PWP}) χρησιμοποιήθηκε η εξίσωση του van Genuchten (1980) για τη χαρακτηριστική καμπύλη. Οι παράμετροι της εξίσωσης της χαρακτηριστικής καμπύλης εκτιμώνται είτε με άμεσες μετρήσεις είτε με έμμεσο τρόπο από πεδοσυναρτήσεις. Από τις διαθέσιμες στη βιβλιογραφία ομάδες πεδοσυναρτήσεων, θεωρήθηκε ότι οι πεδοσυναρτήσεις των Vereecken et al. (1989) μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εκτίμηση των παραμέτρων της εξίσωσης του van Genuchten (1980) για το έδαφος των μεταχειρίσεων. Η μορφή των συναρτήσεων αυτών είναι η εξής:

$$\theta_s = 0.838 - 0.238 \cdot \rho_b + 0.0013 \cdot Cl \quad (1)$$

$$\theta_r = 0.015 + 0.005 \cdot Cl + 0.0014 \cdot C \quad (2)$$

$$\ln(\alpha) = -2.486 + 0.025 \cdot Sa - 0.351 \cdot C - 2.617 \cdot \rho_b - 0.023 \cdot Cl \quad (3)$$

$$\ln(n) = 0.053 - 0.009Sa - 0.013Cl + 0.00015Sa^2 \quad (4)$$

όπου ρ_b (gcm^{-3}) είναι η φαινόμενη πυκνότητα του εδάφους, C είναι το ποσοστό του περιεχόμενου οργανικού άνθρακα, Cl και Sa είναι τα ποσοστά της περιεχόμενης αργίλου και άμμου αντίστοιχα. Οι

παραπάνω πεδοσυναρτήσεις προσδιορίστηκαν για τιμή της παραμέτρου m = 1.

Στους Πίνακες 2 και 3 δίνονται οι φυσικές ιδιότητες και οι τιμές των παραμέτρων των υδραυλικών συναρτήσεων των δύο εδαφών του πειραματικού αγρού, μέχρι το βάθος του ριζοστρώματος.

Πίνακας 2. Φυσικές ιδιότητες του εδάφους μέχρι το βάθος του ριζοστρώματος

Βάθος (cm)	Άμμος(%)	Ιλύς (%)	Άργιλος (%)	Κοκκ. Σύσταση	ρ_b (gcm^{-3})	OC (%)
			Έδαφος 1			
0-20	55.2	22	22.8	Sandy clay loam	1.350	0.395
20-40	49.2	22	28.8	Sandy clay loam	1.333	0.324
40-60	55.2	20	24.8	Sandy clay loam	1.287	0.354
			Έδαφος 2			
0-20	49.2	32	18.8	Loam	1.639	0.505
20-40	53.2	34	12.8	Sandy loam	1.531	0.419
40-60	51.2	36	12.8	Loam	1.403	0.233

Πίνακας 3. Υδραυλικές ιδιότητες του εδάφους μέχρι το βάθος του ριζοστρώματος

Βάθος (cm)	θ_s (cm^{3}cm^{-3})	θ_r (cm^{3}cm^{-3})	α (cm^{-1})	n	θ_{FC} (cm^{3}cm^{-3})	θ_{PWP} (cm^{3}cm^{-3})
			Έδαφος 1			
0-20	0.486	0.135	0.00498	0.753	0.274	0.148
20-40	0.498	0.164	0.00400	0.669	0.312	0.184
40-60	0.506	0.144	0.00569	0.734	0.280	0.157
			Έδαφος 2			
0-20	0.399	0.116	0.00212	0.763	0.332	0.135
20-40	0.421	0.085	0.00368	0.846	0.320	0.096
40-60	0.458	0.082	0.00523	0.834	0.319	0.092

2.2. Μοντέλο προσομοίωσης εδαφικής υγρασίας και εξατμισοδιαπνοή καλλιέργειας

Η εδαφική υγρασία υπολογίστηκε σε ημερήσιο χρονικό βήμα με βάση το μοντέλο υδατικού ισοζυγίου (Sabu et al, 2000; Αντωνόπουλος κ. άλ., 2007; Georgiou and Papamichail, 2008; Georgiou et al., 2010):

$$SM_{j+1} = SM_j + P_j - RO_j + IR_j + CR_j - (ET_a)_j - DP_j$$

(5) όπου SM_j είναι η υγρασία την ημέρα j, P_j είναι η αποτελεσματική βροχόπτωση, RO_j είναι η απορροή από την επιφάνεια του εδάφους, IR_j είναι η άρδευση, CR_j είναι η συμβολή του νερού από την ανύψωση της υπόγειας στάθμης, $(ET_a)_j$ είναι η πραγματική εξατμισοδιαπνοή και DP_j είναι η βαθειά διήθηση (όλες οι μονάδες σε mm). Οι παράμετροι RO και CR θεωρήθηκαν μηδενικές στον υπολογισμό της υγρασίας. Η εδαφική υγρασία (SM) υπολογίζεται μεταξύ του μηδενός και της υδατοϊκανότητας (FC).

Μετά από έντονη βροχόπτωση ή άρδευση, η περιεχόμενη υγρασία μπορεί να ξεπεράσει την υγρασία στην υδατοϊκανότητα και η βαθειά διήθηση υπολογίζεται από τη σχέση:

$$DP_j = SM_j + P_j + IR_j - \left(ET_a\right)_j - FC$$

(6)

όπου FC είναι η υγρασία στην υδατοϊκανότητα (mm). Αν η περιεχόμενη εδαφική υγρασία είναι χαμηλότερη από την υγρασία στην υδατοϊκανότητα το έδαφος δεν στραγγίζει και η βαθειά διήθηση λαμβάνει την τιμή μηδέν.

Για τον προσδιορισμό της εξατμισοδιαπνοής χρησιμοποιήθηκε η προσέγγιση του διπλού φυτικού συντελεστή (Allen et al., 1998). Η επίδραση των χαρακτηριστικών της εξάτμισης από το έδαφος και της διαπνοής της καλλιέργειας ενσωματώνονται στον συντελεστή εξάτμισης (K_e) και τον βασικό φυτικό συντελεστή (K_{cb}), αντίστοιχα. Όταν η υγρασία στο ριζόστρωμα είναι υψηλή και η επιφάνεια του εδάφους υγρή, η διαπνοή και η εξάτμιση πραγματοποιούνται με υψηλούς ρυθμούς και η ET_p δίνεται από τη σχέση:

$$ET_p = \left(K_{cb} + K_e\right)ET_o = K_{cb}ET_o + K_eET_o = T_p + E_p$$

(7)

όπου ET_p είναι η δυναμική εξατμισοδιαπνοή καλλιέργειας, ET_o είναι η εξατμισοδιαπνοή αναφοράς, E_p είναι η δυναμική εξάτμιση από την επιφάνεια του εδάφους και T_p είναι η δυναμική διαπνοή της καλλιέργειας (όλες οι μονάδες σε mmd^{-1}).

Τρεις τιμές απαιτούνται για την καμπύλη προσδιορισμού του συντελεστή K_{cb}, οι $K_{cb\ ini}$, $K_{cb\ mid}$ και $K_{cb\ end}$ οι οποίες λαμβάνονται από πίνακες του FAO-56 (Allen et al., 1998). Για κλίματα όπου η μέση RH_{min} είναι διαφορετική από 45% ή όπου η ταχύτητα του ανέμου στα 2 m (u_2) είναι διαφορετική από 2 ms^{-1}, οι $K_{cb\ mid}$ και $K_{cb\ end}$ τιμές μεγαλύτερες από 0,45, πρέπει να προσαρμοστούν με την εξής σχέση (Allen et al., 1998):

$$K_{cb} = K_{cb(table)} + \left[0.04\left(u_2 - 2\right) - 0.004\left(RH_{min} - 45\right)\right]\left(h/3\right)^{0.3}$$

(8)

όπου $K_{cb(table)}$ είναι η τιμή του $K_{cb\ mid}$ και $K_{cb\ end}$ από τους πίνακες του FAO-56, u_2 είναι η μέση ημερήσια ταχύτητα ανέμου στα 2 m ύψους κατά τη διάρκεια του μέσου ή τελευταίου σταδίου όταν 1 ms^{-1}≤ u_2 ≤6 ms^{-1}, RH_{min} (%) είναι η μέση ελάχιστη ημερήσια σχετική υγρασία κατά τη διάρκεια του μέσου ή τελευταίου σταδίου όταν 20% ≤ RH_{min} ≤ 80% και h

(m) είναι το μέσο ύψος των φυτών κατά τη διάρκεια του μέσου ή τελευταίου σταδίου.

Ο συντελεστής εξάτμισης από το έδαφος K_e αποτελεί τη συνιστώσα εξάτμισης της ET_p. Όταν η επιφάνεια του εδάφους είναι υγρή, μετά από βροχή ή άρδευση, ο K_e είναι μέγιστος. Ο υπολογισμός του K_e περιγράφεται από το FAO-56. Η εξάτμιση από το έδαφος και η διαπνοή των φυτών μειώνονται κάτω από το μέγιστο ρυθμό, όταν δεν υπάρχει επαρκές νερό στο έδαφος για την ικανοποίηση των αναγκών της ατμόσφαιρας. Το παραπάνω προσομοιώνεται με το γινόμενο του βασικού συντελεστή διαπνοής των φυτών με τον συντελεστή υδατικής καταπόνησης (K_s) και του συντελεστή εξάτμισης με ένα συντελεστή μείωσης (K_r) ως εξής:

$$ET_a = (K_s K_{cb} + K_r K_e) ET_o = T_a + E_a$$

(9)

όπου ET_a είναι η πραγματική εξατμισοδιαπνοή καλλιέργειας (mmd^{-1}), K_s είναι ο συντελεστής υδατικής καταπόνησης και K_r είναι ένας αδιάστατος συντελεστής μείωσης της εξάτμισης που εξαρτάται από το αθροιστικό βάθος νερού που εξατμίζεται από την επιφάνεια του εδάφους. Ο συντελεστής υδατικής καταπόνησης υπολογίζεται από τις σχέσεις:

$$K_s = 1, \quad SM \geq SM_{min}$$

(10α)

$$K_s = \frac{SM}{SM_{min}} = \frac{SM}{FC - p(FC - PWP)}, \quad SM < SM_{min}$$

(10β)

όπου SM είναι το ύψος νερού που υπολογίζεται από τη σχέση (5), FC είναι το ύψος νερού που αντιστοιχεί στην υδατοϊκανότητα (mm), PWP είναι το ύψος νερού που αντιστοιχεί στο σημείο μόνιμης μάρανσης (mm), SM_{min} είναι η ελάχιστη επιτρεπόμενη ποσότητα νερού και p ($0 \leq p \leq 1$) είναι το κλάσμα του ολικού διαθέσιμου νερού (TAW) που μπορεί να προσλάβει η καλλιέργεια χωρίς προβλήματα υδατικής καταπόνησης. Το TAW εκτιμάται ως η διαφορά μεταξύ του νερού που αντιστοιχεί στην υδατοϊκανότητα και του σημείου μόνιμης μάρανσης. Η τιμή του p κυμαίνεται ανάμεσα σε 0.4 για φυτά με ρηχό ριζικό σύστημα και 0.6 για φυτά με βαθύ ριζικό σύστημα (Allen et al., 1998).

Το αποθηκευμένο νερό στο έδαφος για την αντιπροσωπευτική περιοχή, A_i, που εκτείνεται από τη γραμμή άρδευσης μέχρι το μέσο της μη αρδευόμενης ζώνης, υπολογίστηκε από το ζυγισμένο άθροισμα του αποθηκευμένου νερού στο έδαφος από τις δύο θέσεις μέτρησης [αρδευόμενη γραμμή (θ_i) και γραμμή των φυτών (θ_p)] ως εξής:

$$\Theta = \frac{\theta_i + \theta_p}{2} \quad \text{και} \quad \theta = \sum_{k=1}^{K} \theta_k \Delta z$$

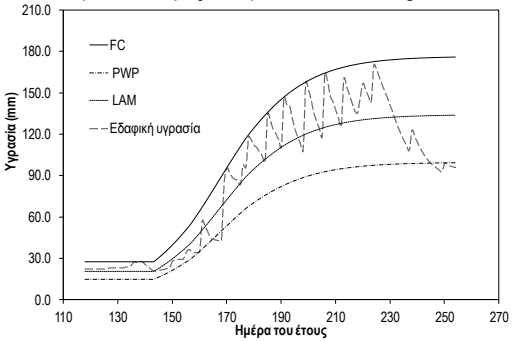
(11)

όπου Θ είναι το ζυγισμένο αποθηκευμένο νερό στην περιοχή A_i, θ_k είναι η μετρημένη υγρασία από τους αισθητήρες για κάθε 0.1 m βάθος εδάφους, Δz το βάθος του ριζοστρώματος και K ο συνολικός αριθμός των μετρήσεων που λαμβάνονται υπόψη μέχρι το βάθος Δz.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

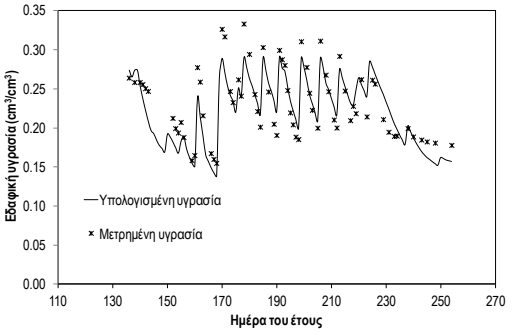
Το μοντέλο του ισοζυγίου της εδαφικής υγρασίας που παρουσιάστηκε προηγούμενα εφαρμόστηκε στα δύο εδάφη, για όλη τη διάρκεια της βλαστικής περιόδου, λαμβάνοντας υπόψη τη μεταβολή του ριζικού συστήματος.

Στο Σχήμα 2 παρουσιάζεται γραφικά η διακύμανση της εδαφικής υγρασίας για το έδαφος 1 στη ζώνη του ριζοστρώματος, όπως υπολογίστηκε από το μοντέλο. Όπως προκύπτει από το Σχήμα 2, η υγρασία στο μεγαλύτερο διάστημα της βλαστικής περιόδου βρισκόταν εντός της ωφέλιμης υγρασίας [μεταξύ ελάχιστης επιτρεπόμενης υγρασίας (LAM) και υδατοϊκανότητας (FC)] με διαφοροποίηση στην αρχή και στο τέλος όπου η υγρασία σύμφωνα με τους υπολογισμούς έφτασε μέχρι το σημείο μόνιμης μάρανσης. Επιπλέον, οι αρδεύσεις εφαρμόζονταν στον κατάλληλο χρόνο (όταν η περιεχόμενη υγρασία έφτανε στη LAM) και με την απαραίτητη ποσότητα (μέχρι η υγρασία να φτάσει στην FC). Όλα τα παραπάνω συνηγορούν σε αυξημένη απόδοση του καλαμποκιού. Πράγματι, η μέση στρεμματική απόδοση στο έδαφος 1, έφτασε τα 1500 kg.



Σχήμα 2. Διακύμανση της εδαφικής υγρασίας στη ζώνη του ριζοστρώματος στο έδαφος 1.

Οι υπολογισμένες με το μοντέλο τιμές υγρασίας, συγκρίθηκαν και με τις βαθμονομημένες τιμές υγρασίας που μετρήθηκαν με το Diviner 2000 και υπολογίστηκαν σύμφωνα με τη σχέση (11). Οι τιμές της υγρασίας για το έδαφος 1, παρουσιάζονται γραφικά στο Σχήμα 3.

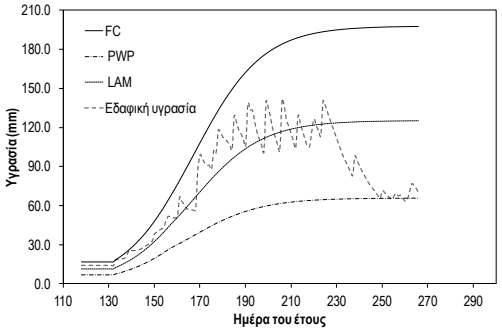


Σχήμα 3. Σύγκριση μετρημένων και υπολογισμένων τιμών εδαφικής υγρασίας στο έδαφος 1.

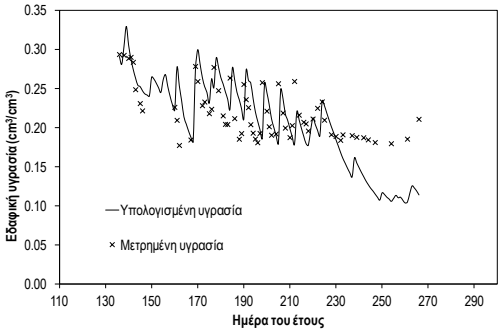
Όπως προκύπτει από το Σχήμα 3, το μοντέλο περιγράφει ικανοποιητικά τη διακύμανση της εδαφικής υγρασίας με μικρές αποκλίσεις στις μέγιστες και στις ελάχιστες τιμές.

Στο Σχήμα 4 παρουσιάζεται γραφικά η διακύμανση της εδαφικής υγρασίας για το έδαφος 2 στη ζώνη του ριζοστρώματος, όπως υπολογίστηκε από το μοντέλο. Όπως προκύπτει από το Σχήμα 4 για σημαντικό χρονικό διάστημα της βλαστικής περιόδου, η υγρασία ήταν μικρότερη από την ελάχιστα επιτρεπόμενη (LAM) και δεν προσέγγισε το επίπεδο της υδατοϊκανότητας, παρά την εφαρμογή των αρδεύσεων. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι δόσεις άρδευσης ήταν περιορισμένες (Πίνακας 1). Το παραπάνω είχε ως αποτέλεσμα μειωμένη απόδοση του καλαμποκιού που έφτασε στα 1300 kg/στρ.

Στο Σχήμα 5 παρουσιάζονται γραφικά οι υπολογισμένες με το μοντέλο και οι βαθμονομημένες τιμές υγρασίας που μετρήθηκαν με το Diviner 2000 και υπολογίστηκαν σύμφωνα με τη σχέση (11). Όπως φαίνεται από το Σχήμα 5 η προσομοίωση είναι αρκετά ικανοποιητική με μόνη εξαίρεση την υγρασία του τελευταίου χρονικού διαστήματος όπου υπάρχει μία υποεκτίμηση της μετρημένης τιμής.



Σχήμα 4. Διακύμανση της εδαφικής υγρασίας στη ζώνη του ριζοστρώματος στη έδαφος 2.



Σχήμα 5. Σύγκριση μετρημένων και υπολογισμένων τιμών εδαφικής υγρασίας στο έδαφος 2.

Για τον έλεγχο της ακρίβειας των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης, υπολογίστηκαν τα στατιστικά κριτήρια του μέσου σφάλματος, E (cm^3cm^{-3}), του σφάλματος του τετραγώνου των αποκλίσεων, RMSE (%) και του συντελεστή ελλείμματος μάζας, CRM, μεταξύ μετρημένων και υπολογισμένων τιμών εδαφικής υγρασίας (Αντωνόπουλος, 1999). Οι τιμές των στατιστικών κριτηρίων για την περίπτωση της μεταχείρισης στο έδαφος 1 είναι 0.004 cm^3cm^{-3}, 8.97% και -0.026 ενώ για το έδαφος 2 είναι -0.001 cm^3cm^{-3}, 17.96% και -0.186, αντίστοιχα. Όπως προκύπτει από τις παραπάνω τιμές, η προσομοίωση είναι πολύ καλή.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην εργασία διερευνήθηκε η διακύμανση της υγρασίας υπό συνθήκες μερικής ύγρανσης του ριζοστρώματος (Partial Root-zone Drying, PRD) που αποτελεί μια τροποποιημένη μέθοδο στάγδην άρδευσης και αφορά την ύγρανση του ριζοστρώματος μόνο κατά το ήμισυ σε κάθε άρδευση. Υπολογίστηκε η εδαφική υγρασία με τη βοήθεια ενός απλού μοντέλου εδαφικού ισοζυγίου και τη χρήση του διπλού φυτικού συντελεστή. Τα πειραματικά δεδομένα συγκεντρώθηκαν από δύο πειραματικά αγροτεμάχια στο Αγρόκτημα του Α.Π.Θ. την καλλιεργητική περίοδο του 2009. Η μέτρηση της εδαφικής υγρασίας γινόταν με αισθητήρες Diviner 2000 τόσο στη γραμμή των φυτών όσο και στη γραμμή άρδευσης. Οι υπολογισμένες τιμές εδαφικής υγρασίας από την εφαρμογή του μοντέλου ήταν πολύ κοντά στις μετρημένες τιμές που υπολογίζονταν από το ημιάθροισμα των τιμών στις δύο θέσεις. Προτείνεται, για τον προγραμματισμό των αρδεύσεων με τη χρήση αισθητήρων μέτρησης της εδαφικής υγρασίας και της συγκεκριμένης μεθόδου άρδευσης, η υγρασία να μετράται τουλάχιστον σε δύο σημεία (επί της γραμμής των φυτών και της γραμμής άρδευσης) και να λαμβάνεται το ημιάθροισμά τους.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Abrisqueta, J.M., Mounzer, O., Alvarez, S., Conejero, W., Garcia-Orellana, Y., Tapia, L.M., Vera, J., Abrisqueta, I., Ruiz-Sanchez, M.C., 2008. Root dynamics of peach trees submitted to partial rootzone drying and continuous deficit irrigation. Agric. Water Manage., 95:959–967.

Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M., 1998. Crop evapotranspiration-guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage, Paper 56, Rome, Italy.

Αντωνόπουλος, Β.Ζ., 1999. Υδρολογία της ακόρεστης ζώνης του εδάφους. Έκδοση υπηρεσίας δημοσιευμάτων του Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη, 274 σελ.

Antonopoulos, V.Z., 2001. Simulation of water and nitrogen balances of irrigated and fertilized corn-crop soil. J. Irrig. Drain. Eng., ASCE, 127(2): 77-83.

Αντωνόπουλος, Β.Ζ., Λεκάκης, Ε.Η., Γεωργίου, Π.Ε., 2007. Προγραμματισμός των αρδεύσεων με ολοκληρωμένα μοντέλα και τη μέθοδο ισοζυγίου του εδαφικού νερού. Υδροτεχνικά, 17:63-76.

Badr, M.A., Taalab, A.S., 2007. Effect of drip irrigation and discharge rate on water and solute dynamics in sandy soil and tomato yield. Austr. J. Bas. Appl. Sci., 1(4): 545-552.

Dry, PR, Loveys, B.R., McCarthy, M.G., Stoll, M., 2001. Strategic irrigation management in Australian vineyards. J. Int. des Sci. de La Vigne et du Vin 35:129–139.

Du, T., Kang, S., Zhang, J., Li, F., Yan, B., 2008. Water use efficiency and fruit quality of table grape under alternate partial root-zone drip irrigation. Agric. Water Manage. 95:659–668.

Georgiou, P.E., Antonopoulos, V.Z., Lekakis, E.H., 2010. Soil water balance and distribution in a field of maize under partial root-zone drying drip irrigation. e-Proceedings of the International Conference PRE10 “Protection and Restoration of the Environment X”, Corfu, Greece, 8 p.

Georgiou, P.E., Papamichail, D.M., 2008. Optimization model of an irrigation reservoir for water allocation and crop planning under various weather conditions. Irrig. Sci., 26(6): 487-504.

Kalfountzos, D., Alexiou, I., Kotsopoulos, S., Zavakos, G., Vyrlas, P., 2007. Effect of subsurface drip irrigation on cotton plantations. Water Resour. Manage., 21:1341-1351.

Kang S., Zhang, J., 2004. Controlled alternate partial root-zone irrigation: its physiological consequences and impact on water use efficiency, J. Exp. Bot., 55:2437–2446.

Kang S., Hu, X., Goodwin, I., Jerie, P., 2002. Soil water distribution, water use, and yield response to partial root-zone drying under a shallow groundwater table condition in a pear orchard. Sci. Hortic. 92:277–291.

Kang, S., Liang, Z., Hu, W., Zhang, J., 1998. Water use efficiency of controlled alternate irrigation on root-divided maize plant. Agric. Water Manage., 38(1): 69-76.

Kirda, C, Topcu, S., Cetin, M., Dasgan, H.Y., Kaman, H., Topaloglu, F., Derici, M.R., Ekici, B., 2007. Prospects of partial root-zone irrigation for increasing irrigation water use efficiency of major crops in the Mediterranean region. Ann. Appl. Biol., 150:281–291.

Λεκάκης, Ε., Γεωργίου, Π., Παυλάτου – Βε, Α., Αντωνόπουλος, Β., 2010. Διακύμανση της υγρασίας και της αλατότητας σε ασβεστούχα εδάφη και καλλιέργεια καλαμποκιού υπό άρδευση με τη μέθοδο της μερικής ύγρανσης του ριζοστρώματος. Πρακτικά 13ου Πανελληνίου Εδαφολογικού Συνεδρίου, σελ.: 59-69, Λάρισα.

Lekakis, E.H., Georgiou, P.E., Pavlatou-Ve, A., Antonopoulos, V.Z., 2011. Effects of fixed partial root-zone drying irrigation and soil texture on water and solute dynamics in calcareous soils and corn yield. Agric. Water Manage., 101:71-80.

Ντιούδης, Π., Φιλίντας, Α., Λέλλης, Θ, Σακελλαρίου - Μακραντωνάκη, Μ., 2003. Παραγωγικότητα καλλιέργειας αραβοσίτου συναρτήσει του εύρους άρδευσης με σύστημα στάγδην. Πρακτικά 3ου Πανελληνίου Συνεδρίου Γεωργικής Μηχανικής, σελ.: 69-76, Θεσσαλονίκη.

Paraskevas, C., Georgiou, P., Ilias, A., Panoras, A., Babajimopoulos, C., 2012. Calibration equations for two capacitance water content probes in a lysimeter field. Inter. Agroph., 26:285-293.

Sabu, P., Sudhindra, P.N., Kumar, N.D., 2000. Optimal irrigation allocation: A multilevel approach. J. Irrig. Drain. Engi., ASCE, 126(3): 149-156.

Sakellariou-Makrantonaki, M., Papalexis, D., Nakos, N., Kalavrouziotis, I.K., 2007. Effect of modern irrigation methods on growth and energy production of sweet sorghum (var. Keller) on a dry year in Central Greece. Agri. Water Manage., 90:181-189.

van Genuchten, M.Th., 1980. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. Soil Sci. Soc. Am. J., 44:892-898.

Vereecken, H., Maes, J., Feyen, J., Darius, P., 1989. Estimating the soil moisture retention characteristics from texture, bulk density and carbon content. Soil Sci., 148: 389-403.

Zegbe, J.A., Behboudian, M.H., Clotier, B.E., 2004. Partial root drying zone is a feasible option for irrigating processing tomatoes. Agric. Water Manage., 68:195–206.

ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΔΕΙΚΤΩΝ ΞΗΡΑΣΙΑΣ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΣΤΟΧΑΣΤΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ

Π. Γεωργίου[1], Δ. Παπαμιχαήλ[2] και Δ. Παπάρας[3]
Τομέας Εγγείων Βελτιώσεων, Εδαφολογίας και Γεωργικής Μηχανικής,
Γεωπονική Σχολή Α.Π.Θ., 54124 Θεσσαλονίκη
E-mail:[1]pantaz@agro.auth.gr, [2]papamich@agro.auth.gr, [3]paparas_dim@yahoo.gr

Η ξηρασία είναι ένα παγκόσμιο φαινόμενο που προκαλεί σημαντικές ζημιές τόσο στο φυσικό περιβάλλον όσο και στη ζωή των ανθρώπων. Οι δείκτες ξηρασίας είναι απαραίτητα εργαλεία για τη συνεχή παρακολούθηση και καταγραφή της έντασης και της διάρκειας των επεισοδίων ξηρασίας. Η πρόβλεψη της ξηρασίας είναι απαραίτητη στη διαχείρισή της αλλά και στο σχεδιασμό και τη διαχείριση συστημάτων υδατικών πόρων. Στην εργασία αυτή χρησιμοποιούνται τα στοχαστικά μοντέλα SARIMA (Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average) για την προσομοίωση του δείκτη SPI (Standardised Precipitation Index) για χρονικά βήματα 3, 6, 9 και 12 μηνών. Τα κατάλληλα στοχαστικά μοντέλα χρησιμοποιούνται για την πρόβλεψη των δεικτών ξηρασίας για έναν ή περισσότερους μήνες, για τους οποίους υπάρχουν υπολογισμένες τιμές του δείκτη. Από τη σύγκριση μεταξύ υπολογισμένων και προβλεπόμενων τιμών προέκυψε ότι τα στοχαστικά μοντέλα μπορούν να χρησιμοποιηθούν με ικανοποιητική ακρίβεια για την πρόβλεψη του δείκτη ξηρασίας SPI όλων των χρονικών βημάτων. Τέλος, τα στοχαστικά μοντέλα χρησιμοποιήθηκαν και για τη δημιουργία συνθετικών σειρών του δείκτη SPI για τα διάφορα χρονικά βήματα. Συνθετικές σειρές του δείκτη SPI προέκυψαν επίσης με τη βοήθεια συνθετικών σειρών βροχόπτωσης. Η συνθετική παραγωγή της βροχόπτωσης γίνεται σε δύο βήματα. Στο πρώτο βήμα προσομοιώνεται η επισύμβαση της βροχόπτωσης με τη χρήση αλυσίδων Markov ενώ στο δεύτερο βήμα προσομοιώνεται το ύψος της βροχόπτωσης με τη χρήση της γάμμα κατανομής. Οι συνθετικές σειρές του δείκτη SPI χρησιμοποιούνται για να ληφθούν κατανομές πιθανότητας ξηρασίας που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην ανάλυση κινδύνων ξηρασίας.

Λέξεις κλειδιά: Δείκτες ξηρασίας, στοχαστικά μοντέλα, συνθετική παραγωγή βροχόπτωσης

MODELLING OF DROUGHT INDICES TIME SERIES BY USING STOCHASTIC MODELS

P. Georgiou[1], D. Papamichail[2] and D. Paparas[3]
Department of Hydraulics, Soil Science and Agricultural Engineering, Faculty of Agriculture
Aristotle University of Thessaloniki, 54124 Thessaloniki
E-mail:[1]pantaz@agro.auth.gr, [2]papamich@agro.auth.gr, [3]paparas_dim@yahoo.gr

Drought is a global phenomenon causing significant damage both in natural environment and in human lives. Drought indices are important and useful tools for monitoring and assessment of drought intensity and duration. Drought forecasting is necessary to drought management and in the planning and management of water resources systems. In this paper stochastic models known as ARIMA and SARIMA (Seasonal Auto Regressive Integrated Moving Average) models are used to simulate the discrete time series of Standardized Precipitation Index (SPI) for time scales of 3, 6 ,9 and 12 months. The selected best models were used to forecast drought indices of one or more months ahead and generate synthetic series of SPI for different time scales. The predicted results were compared with the observed data. Synthetic series of SPI were also generated with the help of synthetic series of rainfall. Rainfall generation is a two stage process whereby rainfall occurrence (i.e. wet or dry day) is based upon a first order two state Markov chain and rainfall amount is sampled from the gamma distribution. Synthetic series of SPI were used to obtain probability distributions of drought occurrence that enhance the drought risk analysis.

Key words: Drought indices, stochastic models, rainfall generation

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ξηρασία είναι ένα ακραίο μετεωρολογικό φαινόμενο το οποίο τα τελευταία χρόνια παρουσιάζει σημαντική αύξηση στη συχνότητα εμφάνισής του σε πολλές περιοχές του κόσμου. Η ξηρασία σχετίζεται με την τρωτότητα των συστημάτων υδροδότησης, των αγροτικών και των κοινωνικών συστημάτων. Ειδικότερα, η τρωτότητα των αγροτικών συστημάτων αναφέρεται στις αυξημένες ανάγκες σε νερό των καλλιεργειών και στην περιορισμένη διαθεσιμότητα των επιφανειακών και υπόγειων υδατικών πόρων (Iglesias et al., 2005).

Οι δείκτες ξηρασίας είναι απαραίτητα στοιχεία για τη συνεχή παρακολούθηση και καταγραφή της έντασης και της έκτασης των επεισοδίων ξηρασίας ενώ δίνουν τη δυνατότητα αξιολόγησης της ξηρασίας όχι μόνο σε τοπικό επίπεδο αλλά και σε μία ευρύτερη περιοχή. Στη διεθνή βιβλιογραφία έχουν παρουσιαστεί διάφοροι δείκτες οι κυριότεροι των οποίων είναι: SPI (Standardized Precipitation Index), PDSI (Palmer Drought Severity Index), CMI (Crop Moisture Index), SWSI (Surface Water Supply Index), VCI (Vegetation Condition Index), RDI (Reconnaissance Drought Index) (Dalezios et al., 1991; Tsakiris et al., 2006, Mishra and Singh, 2010). Οι δείκτες αυτοί χρησιμοποιούν για τον υπολογισμό τους διάφορες μεταβλητές, όπως το ύψος βροχής, την εξατμισοδιαπνοή, τα αποθέματα νερού, την

υπόγεια στάθμη κ.λπ.. Οι Mckee et al. (1993) ανέπτυξαν το δείκτη ξηρασίας SPI (Standardized Precipitation Index), ο οποίος χρησιμοποιεί ως αποκλειστική παράμετρο τη βροχόπτωση και σκοπός τους ήταν να ποσοτικοποιήσουν το έλλειμμα βροχόπτωσης σε διάφορες χρονικές κλίμακες. Με τον υπολογισμό του δείκτη σε διάφορα χρονικά βήματα αντιμετωπίζονται οι διάφοροι τύποι ξηρασίας, δηλαδή για μικρά χρονικά βήματα αντιμετωπίζεται η γεωργική και μετεωρολογική ξηρασία, ενώ για μεγάλα χρονικά βήματα αντιμετωπίζεται η υδρολογική ξηρασία (Sonmez et al., 2005).

Η πρόβλεψη της ξηρασίας είναι απαραίτητη στην ανάλυση κινδύνων, στην ετοιμότητα και στα μέτρα που πρέπει να ληφθούν για το μετριασμό της, όπως επίσης και στο σχεδιασμό και τη διαχείριση συστημάτων υδατικών πόρων. Για το σκοπό αυτό έχουν χρησιμοποιηθεί διάφορες τεχνικές όπως μοντέλα συσχέτισης (regression models), μοντέλα ανάλυσης χρονικών σειρών (time series models), πιθανολογικά μοντέλα (probability models), νευρωνικά δίκτυα (neural networks) και υβριδικά μοντέλα (hybrid models) (Mishra and Desai, 2005; Mishra et al., 2009; Durdu, 2010; Mishra and Singh, 2011).

Στην εργασία αυτή χρησιμοποιούνται τα στοχαστικά μοντέλα SARIMA (Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average) (Box et al., 1994) για την προσομοίωση του δείκτη SPI για χρονικά βήματα 3, 6, 9 και 12 μηνών στο σταθμό του Αγίου Μάμα Χαλκιδικής. Τα κατάλληλα μοντέλα χρησιμοποιούνται για την πρόβλεψη του δείκτη SPI για έναν ή περισσότερους μήνες αλλά και για την παραγωγή συνθετικών σειρών του δείκτη για τα διάφορα χρονικά βήματα. Συνθετικές σειρές του δείκτη SPI προέκυψαν επίσης με τη βοήθεια συνθετικών σειρών βροχόπτωσης. Η συνθετική παραγωγή της βροχόπτωσης γίνεται σε δύο βήματα. Στο πρώτο βήμα προσομοιώνεται η επισύμβαση της βροχόπτωσης με τη χρήση αλυσίδων Markov, ενώ στο δεύτερο βήμα προσομοιώνεται το ύψος της βροχόπτωσης με τη χρήση της γάμμα κατανομής. Η καταλληλότητα των μοντέλων επιβεβαιώθηκε τόσο με την πρόβλεψη του δείκτη για κάποιους μήνες, όσο και με τη συχνότητα εμφάνισης των επεισοδίων ξηρασίας στις διάφορες κατηγορίες χαρακτηρισμού της με βάση τις συνθετικές σειρές όπως προέκυψαν από τα μοντέλα και από τις συνθετικές σειρές βροχόπτωσης.

2. ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΡΕΥΝΑΣ

2.1. Δείκτης ξηρασίας SPI

Ο Τυποποιημένος Δείκτης Κατακρήμνισης (Standardised Precipitation Index) (SPI) αποτελεί έναν μετεωρολογικό δείκτη, ο οποίος χρησιμοποιείται για την παρακολούθηση και πρόβλεψη της ξηρασίας (McKee et al., 1993; Iglesias et al., 2007; Κωτσοβίνος και Αγγελίδης, 2009). Ο συγκεκριμένος δείκτης παρουσιάζει τα εξής πλεονεκτήματα (Hayes, 1999): α) Ευκολία υπολογισμού του, καθώς απαιτείται μόνο χρονοσειρά βροχόπτωσης, β) Δεν εξαρτάται από την εδαφική υγρασία και μπορεί να χρησιμοποιηθεί με επιτυχία τόσο για τους εαρινούς μήνες όσο και τους χειμερινούς, γ) Δεν επηρεάζεται από την τοπογραφία της περιοχής, δ) Δυνατότητα υπολογισμού του σε διάφορες χρονικές κλίμακες, γεγονός που επιτρέπει την εκτίμηση συνθηκών ξηρασίας σε μεγάλη ποικιλία μετεωρολογικών, αγροτικών και υδρολογικών εφαρμογών και ε) Η τυποποίησή του, εξασφαλίζει ότι η συχνότητα των ακραίων γεγονότων ξηρασίας σε οποιαδήποτε θέση και χρονική κλίμακα είναι συνεπής.

Ο δείκτης SPI υπολογίζεται με την προσαρμογή μιας συνάρτησης πυκνότητας πιθανότητας στην εμπειρική κατανομή συχνότητας μιας χρονοσειράς, που προκύπτει από εφαρμογή κυλιόμενου αθροίσματος επιθυμητής χρονικής κλίμακας, πάνω στην εξεταζόμενη χρονοσειρά βροχόπτωσης. Στη συνέχεια, η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας μετασχηματίζεται σε μια τυπική κανονική κατανομή. Έτσι, ο δείκτης «κανονικοποιείται» χωρικά καθώς στον υπολογισμό του υπεισέρχεται τόσο η κατανομή της συχνότητας εμφάνισης της βροχόπτωσης στο συγκεκριμένο τόπο, όσο και η διακύμανση της βροχόπτωσης στην περιοχή. Επιπλέον, ο δείκτης SPI «κανονικοποιείται» και χρονικά, γιατί ο υπολογισμός του μπορεί να γίνει για οποιαδήποτε χρονική κλίμακα (3, 6, 9, 12, 24, κ.λπ. μηνών) ανάλογα με το σκοπό της εκάστοτε ανάλυσης (Κωτσοβίνος και Αγγελίδης, 2009).

Οι χρονοσειρές μηνιαίας βροχόπτωσης ακολουθούν διάφορες θεωρητικές κατανομές με συνηθέστερη την κατανομή γάμμα. Η συνάρτηση πυκνότητας – πιθανότητας της κατανομής γάμμα δίνεται από τη σχέση (Γεωργίου, 2004):

$$g(x)=\frac{1}{\beta^{\alpha}\Gamma(\alpha)}x^{\alpha-1}e^{-x/\beta} \quad \text{για } x>0 \qquad (1)$$

όπου: α είναι η παράμετρος σχήματος (α>0), β είναι η παράμετρος κλίμακας,(β>0), x είναι η ποσότητα της βροχόπτωσης και Γ(α) είναι η συνάρτηση γάμμα.

Για την προσαρμογή της κατανομής απαιτείται ο προσδιορισμός των παραμέτρων α και β οι οποίες υπολογίζονται από σχέσεις που δίνονται από τον Thom (1958). Ολοκληρώνοντας τη συνάρτηση πυκνότητας – πιθανότητας g(x), προκύπτει η αθροιστική συνάρτηση πιθανότητας G(x).

Επειδή η γάμμα συνάρτηση δεν ορίζεται για x=0 και επειδή η κατανομή της βροχόπτωσης ενδέχεται να περιέχει και μηδενικά στοιχεία, η αθροιστική συνάρτηση πιθανότητας ορίζεται από τη σχέση (Mishra and Desai, 2005):

$$H(x)=u+(1-u)G(x) \qquad (2)$$

όπου: u= η πιθανότητα των μηδενικών βροχοπτώσεων.

Η αθροιστική συνάρτηση πιθανότητας H(x), μετασχηματίζεται σε τυπική κανονική κατανομή Z, με μέσο όρο μηδέν και τυπική απόκλιση μονάδα, όπου η τιμή αυτή αποτελεί το δείκτη SPI. Με βάση τον προσεγγιστικό μετασχηματισμό που προτάθηκε από

τους Abramowitz and Stegum (1965), ο μετασχηματισμός που απαιτείται πραγματοποιείται με βάση τις παρακάτω σχέσεις:

$$Z = SPI = -\left(k - \frac{c_o + c_1 k + c_2 k^2}{1 + d_1 k + d_2 k^2 + d_3 k^3} \right) \quad (3)$$

για $0 < H(x) \le 0.5$.

$$Z = SPI = +\left(k - \frac{c_o + c_1 k + c_2 k^2}{1 + d_1 k + d_2 k^2 + d_3 k^3} \right) \quad (4)$$

για $0.5 < H(x) < 1.0$.

όπου:

$$k = \sqrt{\ln\left[1/\left(H(x)\right)^2\right]} \quad \text{για } 0<H(x)\le 0.5 \quad (5)$$

$$k = \sqrt{\ln\left[1/\left(1-H(x)\right)^2\right]} \quad \text{για } 0.5<H(x)<1.0 \quad (6)$$

και c_o=2.515517, c_1=0.802853, c_2=0.010328, d_1= 1.432788, d_2=0.189269, d_3=0.001308.

Οι κατηγορίες χαρακτηρισμού των επεισοδίων ξηρασίας μιας περιόδου με βάση τον δείκτη SPI, σύμφωνα με τους Mckee et al. (1993) δίνονται στον Πίνακα 1.

Πίνακας 1. Ταξινόμηση της ξηρασίας σύμφωνα με τον δείκτη SPI

Τιμές SPI	Χαρακτηρισμός περιόδου
≥2.00	Εξαιρετικά υγρή
1.50 μέχρι 1.99	Πολύ υγρή
1.00 μέχρι 1.49	Μέτρια υγρή
-0.99 μέχρι 0.99	Κανονική
-1.00 μέχρι -1.49	Μέτρια ξηρή
-1.50 μέχρι -1.99	Πολύ ξηρή
≤-2.00	Εξαιρετικά ξηρή

2.2. Στοχαστική προσομοίωση βροχόπτωσης

Στη διεθνή βιβλιογραφία έχουν παρουσιαστεί αρκετά μοντέλα για τη στοχαστική προσομοίωση, όχι μόνο της βροχόπτωσης, αλλά και άλλων μετεωρολογικών μεταβλητών, κυριότερα από τα οποία είναι το PARCHED-THIRST, το ClimGen, το CLIGEN και άλλα (Γεωργίου, 2004, Γεωργίου και Παπαμιχαήλ, 2006α).

Η προσομοίωση και η δημιουργία συνθετικών σειρών ημερήσιων βροχοπτώσεων γίνεται σε δύο βήματα. Κατά το πρώτο βήμα γίνεται η προσομοίωση της επισύμβασης της βροχής δηλαδή αν η ημέρα είναι υγρή ή ξηρή και κατά το δεύτερο βήμα, στην περίπτωση που η ημέρα είναι υγρή, γίνεται η προσομοίωση του ύψους της βροχής (Γεωργίου και Παπαμιχαήλ, 2005; 2006β).

Η επισύμβαση της βροχόπτωσης προσομοιώνεται με μία πρώτης τάξης, δύο καταστάσεων αλυσίδα Markov και υπολογίζονται οι πιθανότητες μετάβασης για κάθε ημέρα του έτους (Srikanthan and McMahon 1983; Γεωργίου 2004). Για μια πρώτης τάξης αλυσίδα Markov, ο πίνακας των πιθανοτήτων μετάβασης στην περίπτωση της επισύμβασης ή όχι της βροχής, όπου υπάρχουν δύο καταστάσεις (υγρή και ξηρή) είναι ο εξής:

$$P(t) = \begin{bmatrix} p_{dd} & p_{dw} \\ p_{wd} & p_{ww} \end{bmatrix} \quad (7)$$

όπου: p_{dd} = πιθανότητα υπό συνθήκη (conditional probability) ότι μια ξηρή ημέρα (dry day) ακολουθείται από μια ξηρή, p_{dw} = πιθανότητα υπό συνθήκη ότι μια υγρή ημέρα (wet day) ακολουθείται από μια ξηρή, p_{wd} = πιθανότητα υπό συνθήκη ότι μια ξηρή ημέρα ακολουθείται από μια υγρή και τέλος p_{ww} = πιθανότητα υπό συνθήκη ότι μια υγρή ημέρα ακολουθείται από μια υγρή .

Για την παραγωγή συνθετικών σειρών υγρών και ξηρών ημερών χρησιμοποιούνται τυχαίοι αριθμοί, οι οποίοι παράγονται από την ομοιόμορφη κατανομή στο διάστημα [0,1].

Στη συνέχεια για τις υγρές ημέρες, η συνθετική παραγωγή του ύψους βροχής γίνεται με την υιοθέτηση της γάμμα κατανομής [σχέση (1)] και την παραγωγή τυχαίων αριθμών. Αναλυτική περιγραφή της διαδικασίας εκτίμησης τυχαίων αριθμών μπορεί κανείς να βρει στους Γεωργίου (2004) και Γεωργίου και Παπαμιχαήλ (2006β).

2.3. Στοχαστικά μοντέλα SARIMA

Στοχαστικές διαδικασίες για την προσομοίωση χρονοσειρών δόθηκαν συστηματικά από τους Box and Jenkins, οι οποίοι περιγράφουν μια οικογένεια γραμμικών στοχαστικών μοντέλων που είναι γνωστά ως Box-Jenkins ή SARIMA (Seasonal AutoRegressive Integrated Moving Average) μοντέλα (Box and Jenkins, 1976; Box et al., 1994). Τέτοια στοχαστικά μοντέλα εφαρμόστηκαν στην ανάλυση οικονομικών προβλημάτων, στην προσομοίωση υδρολογικών χρονικών σειρών όπως παροχών ή εισροών, ποιοτικών παραμέτρων, υπόγειας στάθμης υδροφορέων κ. άλ.. Η γενική μορφή των μοντέλων SARIMA, η δημιουργία στασιμότητας, ο αρχικός προσδιορισμός του μοντέλου, η εκτίμηση των παραμέτρων του μοντέλου, ο έλεγχος της καταλληλότητάς του και η επαλήθευσή του περιγράφονται αναλυτικά από τους: Box and Jenkins, 1976; Box et al., 1994; Γεωργίου και Παπαμιχαήλ, 1999; Papamichail et al., 2000; Papamichail and Georgiou, 2001; Manakos et al., 2011.

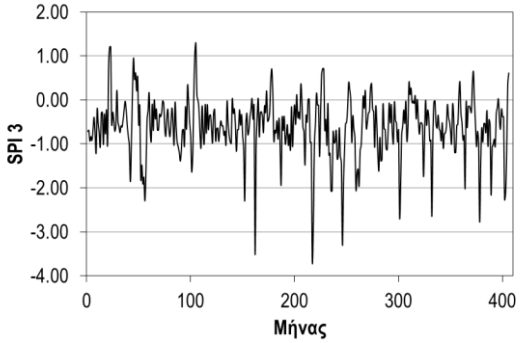
Το κατάλληλο μοντέλο SARIMA μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την πρόβλεψη του δείκτη SPI για μικρό χρονικό διάστημα (short term prediction) και για τη δημιουργία συνθετικών σειρών απεριόριστης διάρκειας (long term generation).

3. ΕΦΑΡΜΟΓΗ - ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

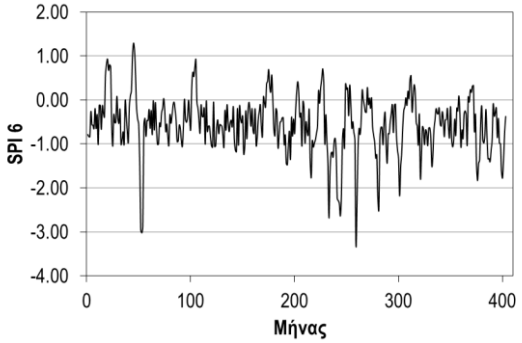
Η εφαρμογή αφορά τον υπολογισμό του δείκτη SPI της χρονικής περιόδου 1965-1998, για χρονικά βήματα 3, 6, 9 και 12 μηνών, στο σταθμό του Αγίου Μάμα Χαλκιδικής (40ο 15΄, 23ο 20΄).

Αρχικά υπολογίστηκαν για κάθε χρονικό βήμα οι τιμές των παραμέτρων σχήματος (α) και κλίμακας (β) της κατανομής γάμμα [σχέση (1)]. Στη συνέχεια με τη βοήθεια των σχέσεων (2) μέχρι (6) υπολογίστηκε η τιμή του δείκτη SPI που φαίνεται στα Σχήματα 1, 2, 3 και 4 για χρονικό βήμα 3, 6, 9 και 12 μηνών.

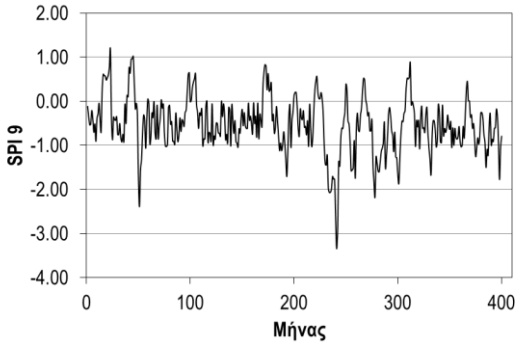
Από τα Σχήματα αυτά προκύπτει πως στο μεγαλύτερο χρονικό διάστημα υπάρχουν «κανονικές» συνθήκες μιας και η τιμή του δείκτη κυμαίνεται από -0.99 μέχρι 0.99. Συνθήκες «πολύ υγρές» και «εξαιρετικά υγρές» δεν υπάρχουν σε καμία περίπτωση. Αντίθετα «μέτρια ξηρές», «πολύ ξηρές» και «εξαιρετικά ξηρές», εμφανίζονται σε όλες τις περιπτώσεις.



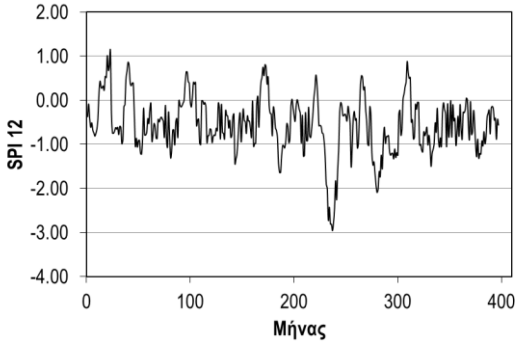
Σχήμα 1. Μηνιαία μεταβολή του δείκτη SPI, για τη χρονική περίοδο 1965-1998, για χρονικό βήμα 3 μηνών στο σταθμό του Αγίου Μάμα.



Σχήμα 2. Μηνιαία μεταβολή του δείκτη SPI, για τη χρονική περίοδο 1965-1998, για χρονικό βήμα 6 μηνών στο σταθμό του Αγίου Μάμα.



Σχήμα 3. Μηνιαία μεταβολή του δείκτη SPI, για τη χρονική περίοδο 1965-1998, για χρονικό βήμα 9 μηνών στο σταθμό του Αγίου Μάμα.



Σχήμα 4. Μηνιαία μεταβολή του δείκτη SPI, για τη χρονική περίοδο 1965-1998, για χρονικό βήμα 12 μηνών στο σταθμό του Αγίου Μάμα.

Πίνακας 2. Ποσοστιαία κατανομή της συχνότητας εμφάνισης των συμβάντων κάθε κλάσης του δείκτη SPI, για την ιστορική σειρά βροχοπτώσεων (1965-1998), τη συνθετική σειρά βροχοπτώσεων και τη συνθετική σειρά SPI και χρονικά βήματα 3 και 6 μηνών στο σταθμό του Αγίου Μάμα

	3-μήνες			6-μήνες		
Κλάσεις	Ιστορική (%) βροχόπτωση	Συνθετική(%) βροχόπτωση	Συνθετική SPI (%)	Ιστορική (%) βροχόπτωση	Συνθετική (%) βροχόπτωση	Συνθετική SPI (%)
Εξαιρετικά υγρός	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Πολύ υγρός	0.00	0.17	0.17	0.00	0.17	0.67
Μέτρια υγρός	0.99	0.67	1.51	0.50	1.51	3.01
Κανονικός	78.08	78.93	75.75	78.41	80.17	81.77
Μέτρια ξηρός	13.55	13.21	17.06	15.63	12.10	11.04
Πολύ ξηρός	3.45	3.85	4.68	1.99	4.20	3.18
Εξαιρετικά ξηρός	3.94	3.18	0.84	3.47	1.85	0.33

Πίνακας 3. Ποσοστιαία κατανομή της συχνότητας εμφάνισης των συμβάντων κάθε κλάσης του δείκτη SPI, για την ιστορική σειρά βροχοπτώσεων (1965-1998), τη συνθετική σειρά βροχοπτώσεων και τη συνθετική σειρά SPI και χρονικά βήματα 9 και 12 μηνών στο σταθμό του Αγίου Μάμα

	9-μήνες			12-μήνες		
Κλάσεις	Ιστορική (%) βροχόπτωση	Συνθετική (%) βροχόπτωση	Συνθετική SPI (%)	Ιστορική (%) βροχόπτωση	Συνθετική (%) βροχόπτωση	Συνθετική SPI (%)
Εξαιρετικά υγρός	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Πολύ υγρός	0.00	0.17	0.17	0.00	0.00	0.00
Μέτρια υγρός	0.50	1.35	1.51	0.50	1.53	0.67
Κανονικός	80.65	80.41	84.95	78.16	75.55	73.08
Μέτρια ξηρός	11.17	12.33	10.87	14.39	16.81	17.73
Πολύ ξηρός	4.96	3.38	1.84	2.73	4.75	6.35
Εξαιρετικά ξηρός	1.99	2.36	0.67	2.73	1.36	2.17

Στον Πίνακα 2 δίνεται η ποσοστιαία κατανομή της συχνότητας εμφάνισης των συμβάντων κάθε κλάσης για τη χρονική περίοδο 1965-1998 για τις περιπτώσεις χρονικών βημάτων 3 και 6 μηνών και στον Πίνακα 3 για τις περιπτώσεις 9 και 12 μηνών. Όπως προκύπτει από τα Σχήματα 1-4 και τους Πίνακες 2 και 3, το μεγαλύτερο ποσοστό, για τις μέτρια ξηρές συνθήκες εμφανίζεται στην περίπτωση του χρονικού βήματος των 6 μηνών (15.63%), για τις πολύ ξηρές στην περίπτωση των 9 μηνών (4.96%) και για τις εξαιρετικά ξηρές στην περίπτωση των 3 μηνών (3.94%). Το τελευταίο είναι αρκετά σημαντικό μιας και το χρονικό βήμα των 3 μηνών ταυτίζεται με την αρδευτική περίοδο, η οποία συνήθως είναι τρείς μήνες (Ιούνιος-Αύγουστος), όπου και εντοπίζονται αυτές οι περίοδοι. Παρόλα αυτά το περιορισμένο ποσοστό (3.94%) σε μία περίοδο 34 ετών δεν είναι ιδιαίτερα ανησυχητικό.

Η εφαρμογή των εποχιακών στοχαστικών μοντέλων SARIMA έγινε στα δεδομένα των μηνιαίων τιμών του δείκτη SPI για τα χρονικά βήματα 3, 6, 9 και 12 μηνών. Η σειρά διαιρέθηκε σε δύο σειρές. Στην πρώτη που καλύπτει τα έτη 1965-1997 και τη δεύτερη που καλύπτει το έτος 1998. Η πρώτη σειρά χρησιμοποιήθηκε για την εύρεση του κατάλληλου στοχαστικού μοντέλου. Δεν χρησιμοποιήθηκε μετασχηματισμός δημιουργίας στασιμότητας μιας και οι σειρές είναι στάσιμες. Δοκιμάστηκαν διάφορα SARIMA μοντέλα και βρέθηκε ότι τα κατάλληλα είναι:
Χρονικό βήμα 3-μηνών: $(1,1,1)\ (3,0,1)_3$
Χρονικό βήμα 6-μηνών: $(1,1,1)\ (1,0,0)_6$
Χρονικό βήμα 9-μηνών: $(1,1,1)\ (0,0,1)_9$
Χρονικό βήμα 12-μηνών: $(3,1,2)\ (0,0,1)_{12}$

Για τα παραπάνω μοντέλα οι τιμές των παραμέτρων, το τυπικό σφάλμα εκτίμησης, η T-τιμή και η P-τιμή δίνονται στον Πίνακα 4.

Πίνακας 4. Τιμές των παραμέτρων, τυπικό σφάλμα εκτίμησης, T-τιμή και P-τιμή για τα κατάλληλα μοντέλα της χρονικής σειράς του δείκτη SPI, των χρονικών βημάτων 3, 6, 9 και 12 μηνών, της χρονικής περιόδου 1965-1997 στο σταθμό του Αγίου Μάμα

Σειρά SPI	Παράμετρος	Τιμή	Τυπικό σφάλμα	T-τιμή	P-τιμή
SPI 3 $(1,1,1)\ (3,0,1)_3$	φ_1	0.5035220	0.04570630	11.01650	0.000000
	Φ_1	-0.9980190	0.06809310	-14.65670	0.000000
	Φ_2	-0.1855370	0.07220400	-2.56962	0.010555
	Φ_3	-0.1604870	0.05342450	-3.00400	0.002838
	θ_1	0.9956360	0.00083541	1191.79000	0.000000
	Θ_1	-0.9256340	0.04824980	-19.18420	0.000000
SPI 6 $(1,1,1)\ (1,0,0)_6$	φ_1	0.6882480	0.03733260	18.43560	0.000000
	Φ_1	-0.1300970	0.05112920	-2.544480	0.011332
	θ_1	0.9923290	0.00204559	485.107000	0.000000
SPI 9 $(1,1,1)\ (0,0,1)_9$	φ_1	0.7560000	0.03447370	21.929800	0.000000
	θ_1	0.9836040	0.00397699	247.324000	0.000000
	Θ_1	0.2501550	0.05030680	4.972580	0.000001
SPI 12 $(3,1,2)\ (0,0,1)_{12}$	φ_1	0.0406478	0.05613190	0.724147	0.469423
	φ_2	0.5131940	0.04785430	10.724100	0.000000
	φ_3	0.1589550	0.05118530	3.105480	0.002043
	θ_1	0.3431100	0.02218540	15.465600	0.000000
	θ_2	0.6763580	0.02345660	28.834500	0.000000
	Θ_1	0.1550250	0.05299520	2.925270	0.003649

Για τον έλεγχο της καταλληλότητας των μοντέλων χρησιμοποιείται ο έλεγχος των υπολοίπων. Ο έλεγχος αυτός γίνεται με το αθροιστικό περιοδόγραμμα, τη συνάρτηση αυτοσυσχέτισης και τη συνάρτηση μερικής αυτοσυσχέτισης της χρονικής σειράς των υπολοίπων τα οποία βρίσκονται εντός των ορίων εμπιστοσύνης γεγονός που δείχνει ότι τα υπόλοιπα είναι λευκού θορύβου δηλαδή ασυσχέτιστα.

Στη συνέχεια τα μοντέλα αυτά χρησιμοποιήθηκαν για την πρόβλεψη του μηνιαίου δείκτη SPI του έτους 1998. Στα Σχήματα 5, 6, 7 και 8 φαίνονται οι μηνιαίες τιμές του δείκτη SPI όπως υπολογίστηκαν από τη μετρημένη βροχόπτωση και όπως εκτιμήθηκαν με τη χρήση των μοντέλων του Πίνακα 4, για χρονικά βήματα 3, 6, 9 και 12 μηνών.

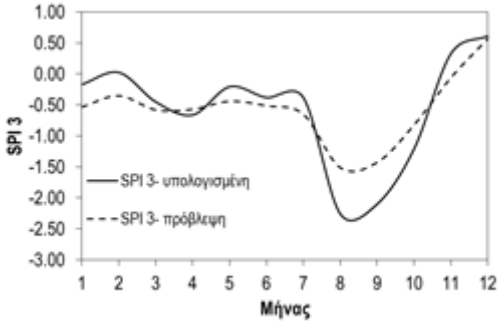
Όπως φαίνεται από τα Σχήματα 5 μέχρι 8, τα εποχιακά στοχαστικά μοντέλα του Πίνακα 4, μπορούν να προβλέψουν τη μηνιαία τιμή του SPI για μικρό χρονικό διάστημα με ικανοποιητική ακρίβεια, για όλα τα χρονικά βήματα. Οι συνθήκες αυτές πρόβλεψης της ξηρασίας είναι απαραίτητες για την εκτίμηση των μέτρων λόγω επερχόμενης ξηρασίας στο μέλλον και η ανάπτυξη σχεδίων μετριασμού από τις επιπτώσεις της.

Στη συνέχεια τα παραπάνω μοντέλα χρησιμοποιήθηκαν για την παραγωγή συνθετικών σειρών SPI. Έτσι σε κάθε χρονικό βήμα παρήχθησαν 100 συνθετικές σειρές, διάρκειας 50 ετών η κάθε μία, από τις οποίες προέκυψε μία μέση συνθετική σειρά.

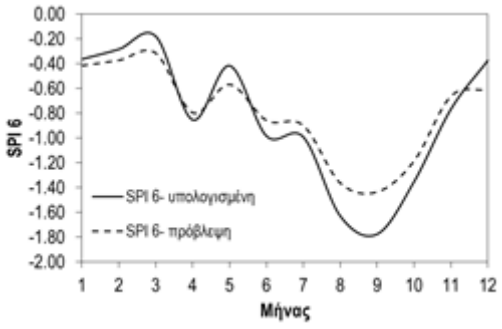
Για κάθε μία σειρά υπολογίστηκε η ποσοστιαία κατανομή της συχνότητας εμφάνισης των συμβάντων κάθε κλάσης του δείκτη SPI και δίνεται στον Πίνακα 2 για χρονικά βήματα 3 και 6 μηνών και στον Πίνακα 3 για χρονικά βήματα 9 και 12 μηνών. Από τη σύγκριση φαίνεται ότι οι συνθετικές σειρές

διατηρούν τα χαρακτηριστικά της ιστορικής και τα ποσοστά είναι παρόμοια.

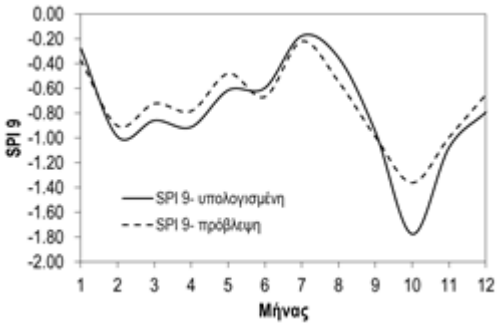
Εκτός όμως από τη στοχαστική παραγωγή του δείκτη SPI με τα στοχαστικά μοντέλα, έγινε προσομοίωση και συνθετική παραγωγή ημερήσιων βροχοπτώσεων για το σταθμό του Αγίου Μάμα Χαλκιδικής. Με τη βοήθεια των ημερήσιων δεδομένων βροχόπτωσης των ετών 1965 μέχρι 1998 χαρακτηρίστηκε κάθε ημέρα, αν είναι υγρή ή ξηρή, χρησιμοποιώντας ως όριο υγρής ημέρας τα 0.1 mm. Στη συνέχεια, υπολογίστηκαν οι τιμές των πιθανοτήτων υπό συνθήκη ότι μια ξηρή ημέρα ακολουθείται από μια υγρή ημέρα (p_{wd}) και μια υγρή ημέρα ακολουθείται από μια υγρή (p_{ww}), για κάθε ημέρα. Για την παραγωγή συνθετικών σειρών υγρών και ξηρών ημερών στο σταθμό του Αγίου Μάμα χρησιμοποιήθηκαν τυχαίοι αριθμοί ομοιόμορφης κατανομής. Με τον τρόπο αυτό παρήχθησαν 100 συνθετικές σειρές, 50 ετών η καθεμία από τις οποίες προέκυψε μια μέση συνθετική σειρά. Μετά τον καθορισμό ότι μια ημέρα είναι υγρή, απαιτείται ο υπολογισμός του ύψους της βροχόπτωσης, το οποίο έγινε με τη βοήθεια της γάμμα κατανομής. Η εκτίμηση των παραμέτρων της γάμμα κατανομής σε ημερήσια βάση για τη βροχόπτωση του σταθμού του Αγίου Μάμα, έγινε με την εφαρμογή της κατανομής στα ημερήσια ύψη βροχής κάθε μήνα και στη συνέχεια, η απόκτηση των ημερήσιων τιμών των παραμέτρων σχήματος και κλίμακας της γάμμα κατανομής έγινε με την εφαρμογή των σειρών Fourier (Γεωργίου, 2004).



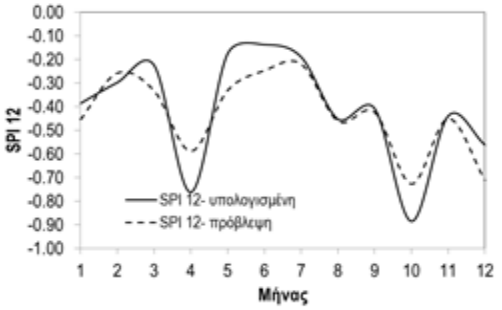
Σχήμα 5. Σύγκριση μηνιαίων τιμών του δείκτη SPI του έτους 1998, για χρονικό βήμα 3 μηνών και των αντίστοιχων τιμών πρόβλεψης του μοντέλου (1,1,1) (3,0,1)$_3$.



Σχήμα 6. Σύγκριση μηνιαίων τιμών του δείκτη SPI του έτους 1998, για χρονικό βήμα 6 μηνών και των αντίστοιχων τιμών πρόβλεψης του μοντέλου (1,1,1) (1,0,0)$_6$.



Σχήμα 7. Σύγκριση μηνιαίων τιμών του δείκτη SPI του έτους 1998, για χρονικό βήμα 9 μηνών και των αντίστοιχων τιμών πρόβλεψης του μοντέλου (1,1,1) $(0,0,1)_9$.



Σχήμα 8. Σύγκριση μηνιαίων τιμών του δείκτη SPI του έτους 1998, για χρονικό βήμα 12 μηνών και των αντίστοιχων τιμών πρόβλεψης του μοντέλου (3,1,2) (0,0,1)$_{12}$.

Με βάση τις ημερήσιες τιμές των παραμέτρων α και β της γάμμα κατανομής, παρήχθησαν τυχαίοι αριθμοί. Για καθεμία από τις 100 συνθετικές σειρές επισύμβασης της βροχόπτωσης, διάρκειας 50 ετών η καθεμία, που παρήχθησαν προηγούμενα, παράγονται και τα αντίστοιχα ύψη βροχής για κάθε υγρή ημέρα. Στη συνέχεια, από τις 100 συνθετικές σειρές υπολογίστηκε μια μέση συνθετική σειρά ημερήσιων υψών βροχής για το σταθμό του Αγίου Μάμα. Με βάση τη μέση συνθετική σειρά των βροχοπτώσεων διάρκειας 50 ετών υπολογίστηκε ο δείκτης SPI, για χρονικά βήματα 3, 6, 9 και 12 μηνών και στη συνέχεια η ποσοστιαία κατανομή της συχνότητας εμφάνισης των συμβάντων κάθε κλάσης του δείκτη SPI και δίνεται στον Πίνακα 2 για χρονικά βήματα 3 και 6 μηνών και στον Πίνακα 3 για χρονικά βήματα 9 και 12 μηνών. Από τη σύγκριση φαίνεται ότι οι συνθετικές σειρές διατηρούν τα χαρακτηριστικά της ιστορικής και τα ποσοστά είναι παρόμοια. Επομένως, οι συνθετικές σειρές SPI είτε υπολογισμένες με ένα στοχαστικό μοντέλο είτε με τη βοήθεια στοχαστικών σειρών βροχοπτώσεων, διατηρούν τα στατιστικά χαρακτηριστικά της ιστορικής σειράς και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εκτίμηση της έντασης και της διάρκειας των επεισοδίων ξηρασίας με σκοπό τη διαχείρισή της αλλά και για το σχεδιασμό και τη διαχείριση συστημάτων υδατικών πόρων.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην εργασία αυτή υπολογίζεται ο δείκτης SPI για χρονικά βήματα 3, 6, 9 και 12 μηνών και στη συνέχεια εφαρμόζονται τα στοχαστικά μοντέλα

SARIMA για την πρόβλεψη των δεικτών ξηρασίας για έναν ή περισσότερους μήνες, για τους οποίους υπάρχουν μετρημένες τιμές του δείκτη. Από τη σύγκριση μεταξύ μετρημένων και εκτιμημένων τιμών προέκυψε ότι τα στοχαστικά μοντέλα μπορούν να χρησιμοποιηθούν με μεγάλη ακρίβεια για την πρόβλεψη του δείκτη ξηρασίας SPI όλων των χρονικών βημάτων. Επίσης, τα στοχαστικά μοντέλα χρησιμοποιήθηκαν και για τη δημιουργία συνθετικών σειρών του δείκτη SPI για τα διάφορα χρονικά βήματα. Συνθετικές σειρές του δείκτη SPI προέκυψαν επίσης με τη βοήθεια συνθετικών σειρών βροχόπτωσης. Από τις δύο διαδικασίες προέκυψε ότι οι συνθετικές σειρές διατηρούν τα χαρακτηριστικά της ιστορικής σειράς και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να ληφθούν κατανομές πιθανότητας ξηρασίας για την ανάλυση κινδύνων ξηρασίας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Abramowitz, M., Stegun, A. (editors), 1965. Handbook of mathematical formulas, graphs, and mathematical tables. Dover Publication Inc. New York.

Box, G.E.P., Jenkins, G.M., 1976. Time series analysis: forecasting and control. Holden Day, Inc., San Francisco, Calif., 532 p.

Box, G.E.P., Jenkins, G.M., Reinsel, G.C., 1994. Time series analysis: forecasting and control. Prentice – Hall International, Inc., 598 p.

Dalezios, N.R., Papazafiriou, Z.G., Papamichail, D.M., Karakostas, T.S., 1991. Drought assessment for the potential of precipitation enhancement in northern Greece. Theor. Appl. Climatol., 44: 75-88.

Durdu, O.F., 2010. Application of linear stochastic models for drought forecasting in the Buyuk Menderes river basin, western Turkey. Stoch. Environ. Res. Risk Assess., 24: 1145-1162.

Hayes, M., 1999. Drought indices. National drought Mitigation Center, 7p.

Iglesias, A., Cancelliere, A., Gabiña, D., López-Francos, A., Moneo, A., Rossi, G. (Editors), 2005. Drought Management Guidelines. Euro-Mediterranean Regional Programme for Local Water Management (MEDA Water) Mediterranean Drought Preparedness and Mitigation Planning (MEDROPLAN).

Iglesias, A., Moneo, M., Lopez-Francos, A., 2007. Drought management quidelines technical annex. Series B : Etudes et Recherches, No. 58, Options Méditerranéennes, 496 p.

Manakos, A., Georgiou, P.E., Mouratidis, I., 2011. Application of stochastic models to rational management of water resources at the Damasi Titanos karstic aquifer in Thessaly Greece. Advances in the Research of Aquatic Environment, 1, 435-442.

Mckee, T.B., Doesken, N.J., Kleist, J., 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scale. 8th Conference on Applied Climatology, Anaheim, CA, 179-184.

Mishra, A.K., Desai, V.R., 2005. Drought forecasting using stochastic models. Stoch. Environ. Res. Risk Assess., 19: 326-339.

Mishra, A.K., Singh, V.P., 2010. A review of drought concepts. J. of Hydrology, 391: 202-216.

Mishra, A.K., Singh, V.P., 2011. Drought modeling – A review. J. of Hydrology, 403: 157-175.

Mishra, A.K., Singh, V.P., Desai, V.R., 2009. Drought characterization: a probabilistic approach. Stoch. Environ. Res. Risk Assess., 23: 41-55.

Papamichail, D.M., Antonopoulos, V.Z., Georgiou, P.E., 2000. Stochastic models for Strymon river flow and water quality parameters. Proceedings of the International Conference "Protection and Restoration of the Environment V", Thassos, Greece, Vol. I, 219-226.

Papamichail, D.M., Georgiou, P.E., 2001. Seasonal ARIMA inflow models for reservoir sizing. Journal of the American Water Resources Association, 37(4): 877-885.

Sonmez, F.K., Komuscu, A.U., Erkan, A., Turgu, E., 2005. An analysis of spatial and temporal dimension of drought vulnerability in Turkey using the Standardized Precipitation Index. Nat. Haz., 35:243-264.

Srikanthan, R., McMahon, T.A., 1983. Stochastic simulation of daily rainfall for Australian stations. Trans. of the ASAE, 754-766.

Thom, H.C.S., 1958. A note on the gamma distribution. Mon. Weath. Rev.,86: 117-122.

Tsakiris, G., Pangalou, D., Vangelis, H., 2006. Regional drought assessment based on the reconnaissance drought index (RDI). Water Res. Manag., 21:813-821.

Γεωργίου, Π.Ε., 2004. Βελτιστοποίηση λειτουργίας ταμιευτήρων για αρδευτικούς σκοπούς. Διδακτορική διατριβή, Τμήμα Γεωπονίας Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη.

Γεωργίου, Π.Ε., Παπαμιχαήλ, Δ.Μ., 1999. Σχεδιασμός και λειτουργία ταμιευτήρων με τη βοήθεια εποχιακών στοχαστικών ομοιωμάτων. Πρακτικά 12ου Πανελλήνιου Συνεδρίου Στατιστικής, Σπέτσες, 60-69.

Γεωργίου, Π.Ε., Παπαμιχαήλ, Δ.Μ., 2005. Συνθετική παραγωγή επισύμβασης ημερήσιων βροχοπτώσεων με τη βοήθεια αλυσίδων Markov. Πρακτικά 4ου Εθνικού Συνεδρίου Γεωργικής Μηχανικής, Αθήνα, 782-791.

Γεωργίου, Π.Ε., Παπαμιχαήλ, Δ.Μ., 2006α. Στοχαστική παραγωγή ημερήσιων κλιματικών παραμέτρων και καμπύλες συχνότητας εξατμισοδιαπνοής αναφοράς. Υδροτεχνικά, 16:5-20.

Γεωργίου, Π.Ε., Παπαμιχαήλ, Δ.Μ., 2006β. Συνθετική παραγωγή ημερήσιων βροχοπτώσεων. Πρακτικά 8ου Πανελλήνιου Συνεδρίου Μετεωρολογίας - Κλιματολογίας - Φυσικής της Ατμόσφαιρας, Αθήνα, τόμος Α, 96-103.

Κωτσοβίνος, Ν., Αγγελίδης, Π., 2009. Η Περιβαλλοντική σημασία του δείκτη ξηρασίας SPI: Προτάσεις εναλλακτικού στατιστικού υπολογισμού του. Υδρογαία, Τιμητικός Τόμος στον καθηγητή κ. Χ. Τζιμόπουλο, Επ. Έκδοσης: Σ. Γιαννόπουλος, Θεσσαλονίκη.

ΛΟΓΟΙ ΕΣΦΑΛΜΕΝΗΣ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ ΣΤΟΝ ΕΛΛΑΔΙΚΟ ΧΩΡΟ

Σ. Αλεξανδρής[1], Ν. Προύτσος[1], Χ. Καραβίτης[1], Ι. Τσίρος[2] και Δ. Σταματάκος[1]
[1] Εργαστήριο Γεωργικής Υδραυλικής, Τμήμα Αξιοποίησης φυσικών πόρων & Γεωργικής Μηχανικής.
[2] Εργαστήριο Γεωργικής Μετεωρολογίας, Γενικό Τμήμα.
Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Ιερά Οδός 75, 118 55 Αθήνα

Ο υπολογισμός της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς (ET_o) και τα πρωτόκολλα εκτίμησής της απαιτούν οι σχετικές μετεωρολογικές παράμετροι να μετρώνται πάνω από πρότυπες επιφάνειες αναφοράς (γρασίδι ή μηδική). Στην Ελλάδα και σε αρκετές Μεσογειακές χώρες τέτοια υπόβαθρα θέσεων αναφοράς και αντίστοιχα πρότυπα αγρομετεωρολογικά δίκτυα είναι από σπανιότατα έως ανύπαρκτα. Μια τέτοια πρακτική οδηγεί στη χρήση μη αξιόπιστων δεδομένων για τον υπολογισμό της ET_o από μη πλήρως τυποποιημένες, σύμφωνα με τα πρωτόκολλα, τοποθεσίες, οπότε οι εκτιμήσεις της ET_o να οδηγούνται σε σημαντικά και συστηματικά σφάλματα υπολογισμού των αναγκών των καλλιεργειών σε νερό. Οι συνέπειες είναι ιδιαίτερα σημαντικές για την άρδευση, που χρησιμοποιεί κατά μέσο όρο πάνω από το 85% της συνολικής κατανάλωσης νερού στην χώρα μας. Επιπλέον, οι υφιστάμενοι μη αξιόπιστοι μετεωρολογικοί σταθμοί δεν κατανέμονται ομοιόμορφα, αλλά πολλές φορές συγκεντρώνονται σε μη αγροτικές περιοχές και κυρίως πλησίον οικισμών. Οι ελλείψεις αυτές των κατάλληλων δεδομένων οδηγούν σε ανορθόδοξες και πολλές φορές λανθασμένες, εκτιμήσεις της ET_o στις αγροτικές περιοχές. Η παρούσα εργασία συγκρίνει μετεωρολογικά δεδομένα και εκτιμήσεις ET_o μιας επαρκώς αρδευόμενης χαμηλής καλλιέργειας σε σχέση με τις αντίστοιχες εκτιμήσεις πάνω από ξηρό και γυμνό έδαφος, κάτω από τις ίδιες τοπικές συνθήκες. Επίσης διερευνά διεξοδικά την επίδραση της επιφάνειας του υποβάθρου επί των μετεωρολογικών παραμέτρων που συμμετέχουν στον υπολογισμό του ρυθμού ET_o με χρήση του μοντέλου Penman-Monteith (FAO56-PM), καθώς επίσης και με την χρήση της εμπειρικής μεθόδου Hargreaves. Τα αποτελέσματα αυτής της σύγκρισης έδειξαν ότι η υπερεκτίμηση της ET_o μπορεί να κυμανθεί από 27% έως και 47% κατά την διάρκεια των θερμών περιόδων, όπου σημειώνονται και οι μέγιστες απαιτήσεις άρδευσης και να οδηγήσει σε αντίστοιχη υπερκατανάλωση νερού.

Λέξεις κλειδιά: Εξατμισοδιαπνοή αναφοράς ET_o, Καλλιέργειας ET_c, Μέθοδος Penman-Monteith FAO56-PM, Μέθοδος Hargreaves, Θερμοκρασία αέρα , Σχετική Υγρασία, Ταχύτητα ανέμου, Καθαρή ακτινοβολία.

REASONS FOR NON-RATIONAL ESTIMATES OF REFERENCE EVAPOTRANSPIRATION IN GREECE

S. Alexandris[1]., N. Proutsos[1], Ch. Karavitis[1], I. Tsiros[2] and D. Stamatakos[1].
1 Lab of Agricultural Hydraulics, Department of Natural Resources & Agricultural Engineering
[2] Lab of Agricultural Meteorology, Department of Science
Agricultural University of Athens, Iera Odos 75, 118 55 Athens, GREECE

The calculation of reference Evapotranspiration (ET_o) and the measurement protocols require meteorological parameters to be taken over standardized vegetation surfaces (grass or alfalfa reference). Unfortunately, in Greece and in many Mediterranean areas such vegetation-reference sites and standardized agro-meteorological networks are rare or non-existent. Such a practice leads to the use of inappropriate data for ET_o estimations from non ideal sites (*non-conforming to standardization*) and consequently, to significant and systematic cumulative errors in determining crop water requirements and irrigation scheduling. Furthermore, the existing inappropriate meteorological stations are not uniformly distributed and rather concentrated in non-rural areas and mostly in agglomerations. Consequently, there is a lack of suitable data leading to non-compatible ET_o estimations in many agricultural regions. Present work compares meteorological attributes and reference evapotranspiration calculations (FAO56 Penman-Monteith, Hargreaves equations) of a well-watered short crop with those over a dry bare soil, under the same local environment. The results show that the overestimation of the ET_o and therefore the over-consumption of irrigation water can oscillate from 27% up to 47% during the warm season, with maximum irrigation requirements.

Keywords: Reference Evapotranspiration ET_o, Crop ET_c, Penman-Montheith method, Hargreaves method, Air temperature, Air relative Humidity, Wind speed, Net Radiation.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η τυποποίηση των επιφανειών επί των οποίων είναι εγκατεστημένοι αγρομετεωρολογικοί σταθμοί είναι επιβεβλημένη λόγω της χωρικής και χρονικής μεταβλητότητας ουσιαστικών παραγόντων που επηρεάζουν την Εξατμισοδιαπνοή αναφοράς (ET_o). Η μεταβλητότητα αυτή δημιουργεί δυσκολίες στην χρήση και στην ακριβή απόδοση των σχετικών προτεινόμενων εξισώσεων για την εκτίμηση της ET_o. Οι παράγοντες που επηρεάζουν την ET_o περιλαμβάνουν την ηλιακή ακτινοβολία, τη θερμοκρασία του αέρα, τη σχετική υγρασία, και την ταχύτητα του ανέμου. Αυτές οι παράμετροι είναι άκρως αλληλένδετες με τη φύση και τις ιδιότητες των επιφανειών επί των οποίων λαμβάνονται οι μετρήσεις τους, καθώς είναι και εκείνες οι παράμετροι που ουσιαστικά στηρίζουν αναμφίβολα όλο το θεωρητικό υπόβαθρο του πιο αξιόπιστου μοντέλου για την εκτίμηση της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς: της μεθόδου Penman–Montteith (Allen et

al.,1998). Ένας σταθμός εγκατεστημένος σε ξηρό περιβάλλον θα αποτυπώνει υψηλότερες τιμές θερμοκρασίας και αντίστοιχα χαμηλότερες τιμές σχετικής υγρασίας σε σχέση με ένα σταθμό που βρίσκεται σε μια καλά αρδευόμενη βλάστηση (Allen,1996; Yoder et al., 2000). Οι περισσότερες επιρροές λοιπόν από τις μετεωρολογικές συνθήκες είναι ενσωματωμένες στην εκτίμηση της ET_o και συνεπώς η ET_o ουσιαστικά αποτελεί μία κλιματική παράμετρο που εκφράζει την εξατμιστική ισχύ της ατμόσφαιρας σε ένα συγκεκριμένο τόπο και χρόνο έχοντας ως δεδομένο τα χαρακτηριστικά μιας καλλιέργειας αναφοράς που αποτελεί το τυποποιημένο υπόβαθρο των μετρήσεων (Allen et al.,1998).

Το βασικότερο, όμως και ουσιαστικότερο κριτήριο για την απόδοση όλων των σχετικών "κλιματικών" εξισώσεων που αποδίδουν τους ρυθμούς εξατμισοδιαπνοής αναφοράς είναι η επάρκεια νερού στο ριζόστρωμα καλλιέργειας αναφοράς. Κάτω από τέτοιες εδαφικές συνθήκες θα μπορούσε να εκφρασθεί η μέγιστη δυνατότητα απώλειας νερού από ένα τυποποιημένο υπόβαθρο καλλιέργειας και έτσι μόνον θα μπορούσαν να αποδοθούν στην πράξη οι πραγματικές εκτιμήσεις της ET_o και ο ουσιαστικός ρόλος της στην εξοικονόμηση αρδευτικού νερού.

Παγκοσμίως, οι ερευνητές έχουν αποδεχθεί την χρήση γρασιδιού (*cool season grass- bluegrasses, fescues, and ryegrasses*) και της μηδικής (alfalfa-*Medicago sativa*) ως πρότυπες επιφάνειες (Allen et al., 2006), λόγω της προσαρμοστικότητας τους σε διάφορα κλιματικά καθεστώτα και λόγω της βιοφυσικής τους ομοιότητας με πολλές γεωργικές καλλιέργειες. Οι απαιτήσεις αυτών των τυποποιημένων επιφανειών όχι μόνο δεν αποτελούν «υποθετικές» επιφάνειες αναφοράς αλλά έχουν σχεδιασθεί και προταθεί για να προσομοιώσουν ένα κοινό σημείο αναφοράς μεταξύ των διαφορετικών μικροκλιματικών συνθηκών ανά τον κόσμο και του μέγιστου ρυθμού υδατοκατανάλωσης των διαφόρων καλλιεργειών που αναπτύσσονται κάτω από αυτές τις συνθήκες. Ο γνωστός συντελεστής καλλιέργειας (K_c) αποτελεί τον αναγωγικό μέσο μεταξύ της ET_o και του δυναμικού ρυθμού εξατμισοδιαπνοής για όλα τα στάδια ανάπτυξης κάθε καλλιέργειας και αντιπροσωπεύει σε ένα τόπο, την σφαιρική επιρροή τεσσάρων βασικών χαρακτηριστικών που τον διαφοροποιούν από την καλλιέργεια αναφοράς. (ύψος καλλιέργειας, ανακλαστικότητα (albedo), αντίσταση φυτοκόμης, εξάτμιση από γυμνό έδαφος).

Σήμερα οι ανάγκες σε νερό άρδευσης συνήθως καθορίζονται αποκλειστικά μέσω διαδικασιών εκτίμησης της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς και απαιτούν σταθμούς εγκατεστημένους σε τυποποιημένες επιφάνειες βλάστησης. Οι περισσότερες περιοχές της Μεσογείου δεν διαθέτουν τέτοιες τυποποιημένες επιφάνειες, λόγω του υψηλού κόστους εγκατάστασης και συντήρησης. Αυτό έχει ως συνέπεια να γίνεται συστηματική χρήση ακατάλληλων κλιματικών δεδομένων προκαλώντας συσσωρευμένα σφάλματα όχι μόνο στο προγραμματισμό των αρδεύσεων αλλά και στην εκτίμηση του ενεργειακού ισοζυγίου μιας περιοχής.

Η εργασία αυτή στοχεύει στο να αναδείξει και να επισημάνει την επίδραση των χαρακτηριστικών μιας επιφάνειας στην εκτίμηση της ET_o.

2. ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

2.1. Θέση των μετεωρολογικών σταθμών.

Στην εργασία αυτή χρησιμοποιήθηκαν μετεωρολογικά δεδομένα από δύο μετεωρολογικούς σταθμούς εγκατεστημένους στο νομό Αρκαδίας. Ειδικότερα ο πρώτος σταθμός της Εθνικής Μετεωρολογικής υπηρεσίας (ΕΜΥ) με ID: WMO-16710/TRIPOLIS AP, ήταν εγκατεστημένος (Εικ. 1) σε υψόμετρο 650,87m με Γ.Σ. $37^o 32' 0'' \text{B}$ και $22^o 24' 00'' \text{A}$ (WMO, 2008).

Εικόνα 1. Μετεωρολογικός σταθμός Ε.Μ.Υ. στο αεροδρόμιο της Τρίπολης με υπόβαθρο επιφάνειας αναφοράς το ξηρό έδαφος.

Ο δεύτερος αυτόματος μικρομετεωρολογικός σταθμός του τομέα Διαχείρισης Υδατικών πόρων του Γ.Π.Α (*Εικ.2*) ήταν εγκατεστημένος σε πειραματικό αγρό στην περιοχή Ζουπάνους, (2004 έως και το 2006), με Γ.Σ. $37^o 33' 11'' \text{B}$ και $22^o 25' 29'' \text{A}$ σε υψόμετρο 641 μέτρων.

Εικόνα 2. Αυτόματος μετεωρολογικός σταθμός Γ.Π.Α. (AUA) εγκατεστημένος σε υπόβαθρο με χαμηλή πράσινη βλάστηση και με πλήρη επάρκεια εδαφικής υγρασίας, σε όλη την διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου.

Όπως προκύπτει διανυσματικά από τις γεωγραφικές συντεταγμένες των δύο σταθμών η μεταξύ τους απόσταση υπολογίστηκε σε 3,85

χιλιόμετρα, με τον σταθμό του ΓΠΑ να βρίσκεται ΒΑ του αντίστοιχου σταθμού της ΕΜΥ (*περίπου 43ο*).

2.2. Ημερήσιες κλιματικές παρατηρήσεις

2.2.1. Μετεωρολογικός σταθμός ΕΜΥ

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν από το σταθμό τύπου "*Stevenson screen*"της ΕΜΥ (Εικ.1) είναι ή μέση ημερήσια θερμοκρασία T_{avg} που εκτιμήθηκε από το μέσο όρο των παρατηρήσεων για την τυπική χειμερινή ώρα (UTC+2) T_{08},T_{14},T_{20}: $T_{avg}=(T_{08}+T_{14}+2T_{20})/4$, η μέγιστη και ελάχιστη ημερήσια θερμοκρασία, T_{max} και T_{min}, η μέση ημερήσια σχετική υγρασία, RH_{avg}, και η μέση ημερήσια ταχύτητα ανέμου στο ύψος των δύο μέτρων, U_2.

2.2.2. Μετεωρολογικός σταθμός AUA.

Στο κέντρο του αγρού πατατοκαλλιέργειας (Εικ.2) εγκαταστάθηκε αυτόματος μετεωρολογικός σταθμός (Minimet_2,Skyeinstruments) με μονάδα καταγραφής *Datahog_2,SDL_5400*, για τη λήψη μετρήσεων με συχνότητα δειγματοληψίας 10s (8640 αναγνώσεις ανά 24ωρο για κάθε μετρούμενη παράμετρο) και αποθήκευση μέσων τιμών 10λέπτου (Προύτσος κ.ά, 2009). Από τον μετεωρολογικό σταθμό *AUA*, για την αντίστοιχη χρονική περίοδο εκτιμήθηκαν οι μέσες ημερήσιες τιμές της θερμοκρασίας T_{avg} της σχετικής υγρασίας, RH_{avg}, μέγιστης και ελάχιστης θερμοκρασίας T_{max} και T_{min} και της ανεμοταχύτητας στο ύψος των δύο μέτρων, U_2 Επίσης, η μέση ημερήσια πυκνότητα ροής της ολικής εισερχόμενης ακτινοβολίας μικρού μήκους κύματος R_s [W/m^2] μετρήθηκε από πυρανόμετρο τύπου SKS 1110 (350-1100nm). Επισημαίνεται δε ότι η βαθμονόμηση του αισθητήρα αναφέρεται σε ηλιακή ενέργεια στην περιοχή μηκών κύματος 300-3000nm, δηλαδή τη ζώνη αποδοχής των πυρανομέτρων Α' τάξης.

2.3. Μεθοδολογία

Στόχος της εργασίας είναι να μελετηθεί η επίδραση της "επιφάνειας αναφοράς" στα κλιματικά δεδομένα που χρησιμοποιούνται για να εκτιμηθεί η εξατμισοδιαπνοή αναφοράς ET_o και κατ επέκταση στον προσδιορισμό των αναγκών σε νερό των καλλιεργειών (εξατμισοδιαπνοή καλλιέργειας ET_c) σε τοπικό περιβάλλον. Η εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας ET_c στην συγκεκριμένη εργασία εκτιμήθηκε <u>άμεσα</u> από την σχέση FAO-56 PM *(*Allen et al.,1998; ASCE-EWRI, 2005):

$$ET_o=\frac{0.408\cdot\Delta\cdot(R_n\text{-}G)+\gamma\cdot\frac{900}{T+273}\cdot U_2\cdot(e_a\text{-}e_d)}{\Delta+\gamma\cdot(1+0.34\cdot U_2)} \qquad [1]$$

Στη σχέση (1) χρησιμοποιήθηκαν όλα τα γεωμετρικά και φυσικά χαρακτηριστικά της καλλιέργειας (ύψος, δείκτη φυλλικής επιφάνειας, αντίσταση στοματίων, επάρκεια εδαφικής υγρασίας). Ο υπολογισμός της ροής καθαρής ακτινοβολίας R_n έγινε σύμφωνα με την εργασία FAO-56 paper *(*Allen et al.,1998,equation 40, p.53) από την σχέση:

$$R_n = R_{ns} - R_{nl} \qquad [2]$$

Η ροή θερμότητας στο έδαφος λαμβάνεται μηδενική για ημερήσιο βήμα εκτίμησης της ET_o. Η εκτίμηση της R_n που προέρχεται από τις τιμές της ολικής ακτινοβολίας R_s για τις επιφάνειες αναφοράς των δύο σταθμών, διαφοροποιείται αρχικά από την ανακλασικότητα της επιφάνειας (albedo), οπου η τιμή για το γυμνό έδαφος (ΕΜΥ) και την καλλιέργεια (AUA) εκτιμήθηκε σε 0.17 και 0.23 αντίστοιχα. Η ανακλαστικότητα επηρεάζει αποκλειστικά τον όρο της καθαρής ακτινοβολίας μικρού μήκους κύματος R_{ns}, ενώ η διαφοροποίηση της καθαρής ακτινοβολίας μεγάλου μήκους ροής ακτινοβολίας οφείλεται στην θερμοκρασία και στη σχετική υγρασία που επικρατεί πάνω από τις δύο επιφάνειες και εκφράζεται στον όρο της R_{nl} από την τάση των πραγματικών υδρατμών (e_a) που επικρατούν πάνω από αυτές.

Οι τιμές εκτίμησης της ET_c στον πειραματικό αγρό (AUA) δύναται να θεωρηθούν πολύ παραπλήσιες με εκείνες τις τιμές εξατμισοδιαπνοής αναφοράς ET_o που λαμβάνονται από γρασίδι αναφοράς ύψους 8 cm, καθώς ο συντελεστής καλλιέργειας K_c των φυτών της πατάτας στο μέγιστο στάδιο ανάπτυξης λαμβάνει περίπου την τιμή 1, δηλαδή $ET_c/ET_o \cong 1$(Kashyap and Panda, 2001). Συνεπώς οι μέγιστες τιμές που λαμβάνονται από την καλλιέργεια στον πειραματικό αγρό δύναται να αποδώσουν επαρκώς τις τιμές εξατμισοδιαπνοής που λαμβάνονται πάνω από μια πρότυπη επιφάνεια γρασιδιού ύψους 8-12 cm κάτω από συνθήκες πλήρους επάρκειας νερού (*δυνητικός ρυθμός απώλειας νερού*).

Παράλληλα χρησιμοποιήθηκε και εκτιμήθηκε ο ρυθμός εξατμισοδιαπνοής (ET_o) της μεθόδου Hargreaves, (Hargreaves & Samani,1985) ώστε να διαπιστωθούν οι διαφορές που θα προέκυπταν σε σχέση με την χρήση της μεθόδου FAO-56 PM στην περίπτωση που η έλλειψη δεδομένων καθιστούσε αδύνατη τη χρήση της προτεινόμενης πρότυπης μεθόδου. Η μέθοδος αυτή όπως εναλλακτικά προτείνεται από την ASCE μπορεί να δοθεί από την σχέση [3], συναρτήσει της διαφοράς μέγιστης και ελάχιστης ημερήσιας θερμοκρασίας, της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας και της ακτινοβολίας στο εξωτερικό της ατμόσφαιρας R_a. Απαιτείται μόνο το γεωγραφικό πλάτος για την εκτίμηση των ημερήσιων τιμών της. Η R_a εισάγεται στη σχέση σε mm[1]:

$$ET_o\ (\text{mm/d}) = 0.0023\cdot(T_{avg}+17.8)\,(T_{max}-T_{min})\,R_a \qquad [3]$$

3.ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΣΥΖΗΤΗΣΗ

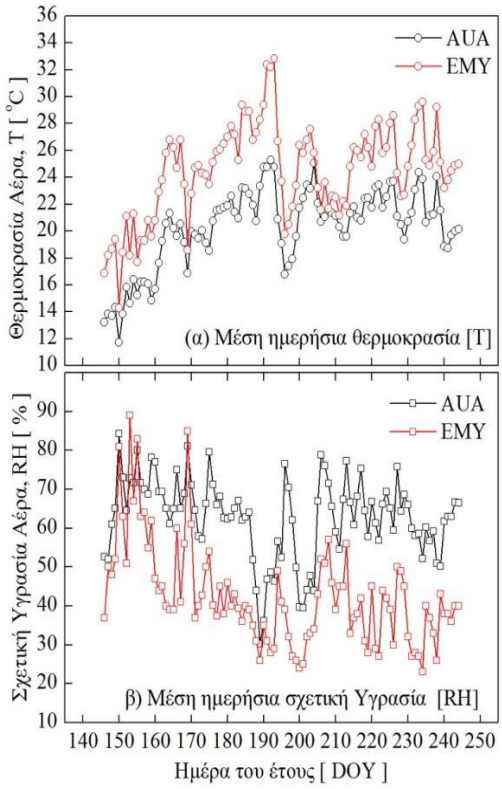
3.1 Συγκριτική ανάλυση των παρατηρήσεων

Στην εργασία αυτή επιχειρείται μια συγκριτική και αναλυτική αξιολόγηση των πρωτογενών δεδομένων που συμμετέχουν στις μεθόδους εκτίμησης ET_o που εκφράζονται από τις εξισώσεις [1] και [2] για τα δύο υπόβαθρα επιφανείας που χαρακτηρίζουν τους δύο μετεωρολογικούς σταθμούς. Επιπλέον γίνεται διερεύνηση κατά πόσο ο αεροδυναμικός (αδιαβατικός) όρος της εξίσωσης

[1] Η έκφραση της ακτινοβολίας R_a σε ισοδύναμο ύψους νερού (mm) αποδίδεται με την εισαγωγή της λανθάνουσας ενέργειας εξάτμισης (λ) μέσω της σχέσης:

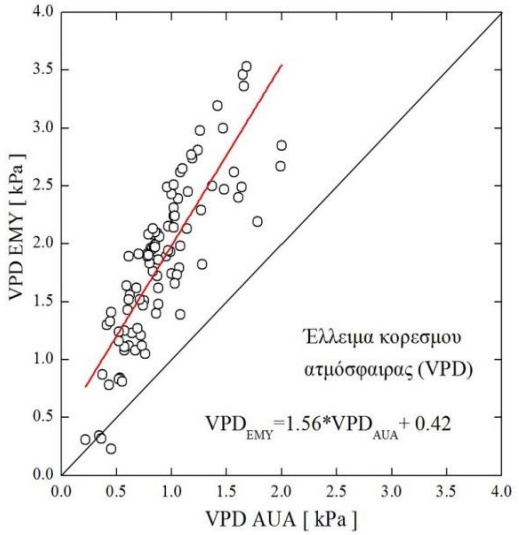
$1\text{mm/day} = 0.408\,\text{MJ/m}^2\text{day}$ (at 20°C)

Penman-Monteith, διαφοροποιείται κάτω από την επίδραση των διαφορετικών χαρακτηριστικών των δύο επιφανειών.



Εικόνα 3. Συγκριτική απεικόνιση (EMY vs AUA) της (α) μεταβολής της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας και (β) της μέσης σχετικής υγρασίας από τις 26/05 έως και 01/09 για το έτος 2004.

Στην Εικ. 3α & 3β αποτυπώνεται η επίδραση της εδαφικής υγρασίας και της βλάστησης στις δύο βασικές παραμέτρους που χαρακτηρίζουν το μικροκλίμα μιας περιοχής (*Θερμοκρασία και σχετική υγρασία*). Τα μεγάλα ποσά λανθάνουσας ενέργειας που δαπανώνται για τη εξάτμιση ή/και διαπνοή μιας επιφάνειας που εξατμίζει με δυνητικό ρυθμό κατά ένα σημαντικό ποσοστό λαμβάνονται από την αισθητή θερμότητα της ατμόσφαιρας (αδιαβατική διαδικασία). Αυτή η φυσική διαδικασία είναι και η αιτία που διαμορφώνει τις συνθήκες που επικρατούν στο υπερκείμενο οριακό στρώμα. Στην αντίθετη περίπτωση η έλλειψη εδαφικής υγρασίας (περίπτωση γυμνού εδάφους, EMY) δημιουργεί ξερικές συνθήκες στην υπερκείμενη οριακή στρώση, με αποτέλεσμα η ενέργεια που δεν δαπανάται για εξάτμιση και διαπνοή να αποδίδεται ως επιπλέον θερμότητα με την εδαφική ροή G, στο υπερκείμενο στρώμα της ατμόσφαιρας. Αυτό διαφοροποιεί έντονα το θερμικό ισοζύγιο του 24ωρου επηρεάζοντας και το επόμενο διαδοχικά 24ωρο. Γίνεται ιδιαίτερα έντονο σε διαστήματα θερμών περιόδων και αποτυπώνεται στο ημερήσιο θερμοκρασιακό εύρος DTR (Diurnal Temperature Range). Η μέση αύξηση της θερμοκρασίας των 4,3 °C και η ελάττωση της μέσης σχετικής υγρασίας κατά 20,2% που παρατηρήθηκε από την 25η Μάιου έως και την 1η Σεπτεμβρίου (99 ημέρες) στον σταθμό της EMY σε σχέση με τον σταθμό του ΓΠΑ (AUA), οδηγεί σε τεράστια σφάλματα στον υπολογισμό της ET_o με αποτέλεσμα την υπερεκτίμηση της ET_c. Στην Εικ.4 διαπιστώνεται με χαρακτηριστικό τρόπο το "εικονικό" έλλειμμα κορεσμού της ατμόσφαιρας (VPD) που διαμορφώνεται πάνω από την επιφάνεια του γυμνού εδάφους συγκριτικά με μια επιφάνεια βλάστησης υπό πλήρη επάρκεια εδαφικής υγρασίας και η οποία διαπνέει με μέγιστο ρυθμό. Η σχέση απεικονίζει μια υποθετική ζήτηση της ατμόσφαιρας σε νερό, που φθάνει σχεδόν στο διπλάσιο σε σχέση με αυτή που απαιτείται από μια χαμηλή βλάστηση με επάρκεια εδαφικής υγρασίας.

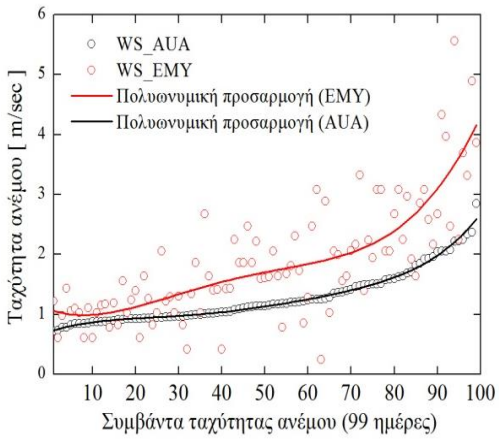


Εικόνα 4. Γραμμική παλινδρόμηση των ημερήσιων τιμών του ελλείμματος κορεσμού της ατμόσφαιρας στο σταθμό AUA σε σχέση με το σταθμό της EMY. (R^2=0,70)

Επίσης τα διαφορετικά αεροδυναμικά στοιχεία που συνθέτουν τις δύο επιφάνειες (ύψος τραχύτητας στη μεταφορά της ορμής, το διαφορετικό ύψος μηδενισμού της ταχύτητας), που εκφράζονται με τον όρο της αεροδυναμικής αντίστασης, διαφοροποιούν το μέτρο της ταχύτητας του ανέμου, το οποίο λαμβάνεται τυπικά στα 2m πάνω από την επιφάνεια του εδάφους. Σε αυτή την διαφοροποίηση του μέτρου της ταχύτητας, συμβάλει επίσης και η διαφορετική ζώνη επιρροής (fetch) της κάθε θέσης εγκατάστασης του σταθμού με τα περιβάλλοντα φυσικά και τεχνητά χαρακτηριστικά που την συνθέτουν (εμπόδια, απόσταση δένδρων, κτιρίων, κ.λπ.). Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να επισημανθεί ότι στην εργασία αυτή δεν εξετάζονται τα τυχόν σφάλματα που προέρχονται από τα πρωτόκολλα μετρήσεων και το τύπο των σταθμών και τα οποία θα μπορούσαν να έχουν μια προσθετική επίδραση στις λαμβανόμενες τιμές της ET_o. Στην Εικ.5, παρουσιάζεται η διαφορά του μέτρου της μέσης ημερήσιας ταχύτητας του ανέμου (m/sec), ταξινομούμενη (αυξανόμενη) ως προς την τιμή της ταχύτητας του σταθμού AUA σε σύγκριση με την αντίστοιχη τιμή του σταθμού EMY. Η συγκριτική αυτή παρουσίαση απεικονίζει τα αντίστοιχα γεγονότα ως μεγέθη για όλες τις ημερήσιες μέσες τιμές, ανεξαρτήτως της ημέρας που παρατηρήθηκαν.

Συνοπτικά στο πίνακα που ακολουθεί αποτυπώνονται οι μέσες παρατηρούμενες τιμές των δύο θέσεων για όλη την θερινή περίοδο (25/05/04 - 01/09/04). Η διαφορά που προκύπτει στην ροή καθαρής ακτινοβολίας R_n οφείλεται στις διαφορετικές τιμές του albedo και της πραγματικής τάσης των υδρατμών που εισάγονται στις εμπειρικές εξισώσεις στην διαδικασία υπολογισμού της R_n από την μικρού μήκους ολικής εισερχόμενης ακτινοβολίας R_s, (Allen et al.,1998):

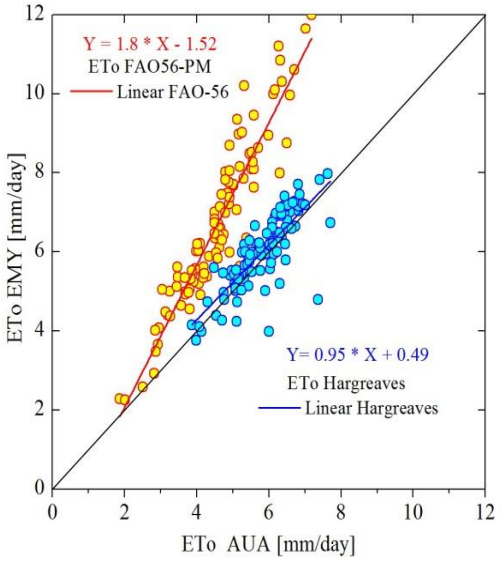
Παράμετρος	AUA	EMY	Μονάδα
T_{avg}	20.27	24.53	[^oC]
RH_{avg}	62.83	42.60	%]
U_2	1.28	1.85	[m/sec]
R_n	14.18	16.99	[MJ/m^2day]
VPD	0.92	1.86	[kPa]



Εικόνα 5. Πολυωνυμική προσαρμογή των ταχυτήτων του ανέμου (ταξινομούμενων) στα δύο υπόβαθρα EMY και AUA.

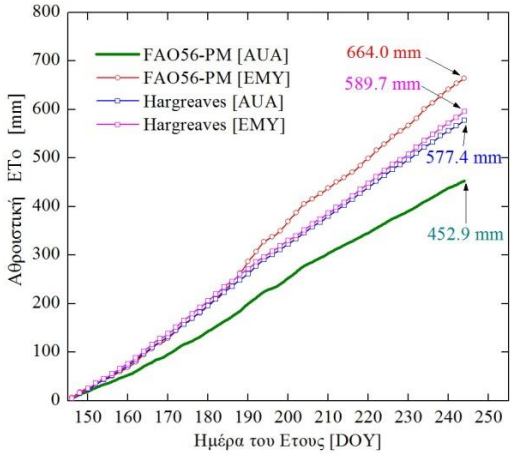
3.2. Συγκριτική αξιολόγηση των τιμών ET_o

Η γειτνίαση της πειραματικής θέσης AUA με ένα κλιματικό σταθμό της EMY που ανήκει στο παγκόσμιο δίκτυο WMO, καθώς οι επαρκείς μετρήσεις του αυτόματου μετεωρολογικού σταθμού AUA πάνω από χαμηλή αρδευόμενη βλάστηση έδωσε την ευκαιρία να διερευνηθεί η επίδραση του υποβάθρου στις εκτιμήσεις της ET_o σε ένα περιορισμένο χωρικά μικροκλιματικό καθεστώς. Με τις εξισώσεις [1] και [2] εκτιμήθηκαν οι ημερήσιες τιμές εξατμισοδιαπνοής αναφοράς ET_o σύμφωνα με τις προϋποθέσεις που ήδη έχουν συζητηθεί παραπάνω. Στην εικόνα 6, αποτυπώνεται καθαρά η υπερεκτίμηση των τιμών ET_o που λαμβάνονται πάνω από ένα ξηρό περιβάλλον χωρίς επάρκεια εδαφικής υγρασίας. Αυτή η αποτύπωση, διαπιστώνεται από την πρώτη γραμμική παλινδρόμηση (κόκκινη γραμμή τάσης) των τιμών ET_o που προέκυψαν από την χρήση της μέθοδου FAO56-PM, όπου παρουσιάζεται μια συστηματική υπερεκτίμηση *(*κλίση1,8 με R^2 = 0,88*)* των τιμών που προέρχονται από δεδομένα της ξηρής επιφάνειας σε σχέση με εκείνες που λαμβάνονται από αρδευόμενη χαμηλή βλάστηση. Η τυπική εφαρμογή των συνιστώμενων μεθοδολογιών (Allen et al.,1998) δεν θα έδινε τιμές ρυθμού εξατμισοδιαπνοής που θα υπερέβαιναν τα 8,5 mm/day σε περιοχές με μέσα μεσογειακά γεωγραφικά πλάτη, ακόμα και κάτω από ακραίες συνθήκες θερμοκρασίας και ακτινοβολίας (Αλεξανδρής,2003; Alexandris et al., 2006). *Σε* αντίθεση, η γραμμική συσχέτιση (μπλε γραμμή τάσης) που προκύπτει από τις αντίστοιχες εκτιμήσεις της ET_o με χρήση της μεθόδου Hargreaves, έδωσε μια πολύ καλή προσέγγιση μεταξύ των τιμών AUA και EMY, παρά την σχετικά μεγάλη παρατηρούμενη διασπορά μεταξύ των εκτιμήσεων *(*R^2 = 0,65*)* από τις δύο επιφάνειες.



Εικόνα 6. Γραμμική συσχέτιση των εκτιμούμενων τιμών ET_o της πειραματικής θέσης AUA σε σχέση με τις αντίστοιχες τιμές της EMY α)με την μέθοδο FAO56-PM (R^2=0,88) και β) με την μέθοδο Hargreaves (R^2=0,65).

Η κλίση 0,95 της γραμμής συσχέτισης δεικνύει ότι η μέγιστη και ελάχιστη θερμοκρασία ως ένας από τους δύο παράγοντες που εισάγονται στη μέθοδο (δηλαδή το ημερήσιο εύρος θερμοκρασιακής διακύμανσης) δεν είναι δυνατόν να αποτυπώσει την διαφορετική φύση των δύο επιφανειών διότι πιθανά ο ρυθμός αλλαγής της αισθητής θερμότητας στην υπερκείμενη ατμόσφαιρα είναι πολύ χαμηλός από ημέρα σε ημέρα. Απότομες όμως αλλαγές στον δεύτερο παράγοντα (μέση ημερήσια θερμοκρασία) προκαλεί πιθανά την παρατηρούμενη διασπορά των εκτιμούμενων τιμών ET_o. Αυτό είναι εμφανές στις 3 ακραίες τιμές διασποράς (Εικ.6) σε σχέση με τις παρατηρούμενες μεγαλύτερες απότομες πτώσεις των ημερήσιων μέσων θερμοκρασιών της εικόνας 3α.



Εικόνα 7. Αθροιστική ET_o 25/05/2004 - 01/09/2004.

Στην εικόνα 7 εμφανίζεται η αθροιστική ET_o για όλη την περίοδο των 99 ημερών (25/5 -1/9) όπως εκτιμήθηκε από τις δύο μεθόδους FAO56-PM και Hargreaves και για τις δύο επιφάνειες.

Η ευαισθησία της πρώτης μεθόδου η οποία εκφράζει το ενεργειακό ισοζύγιο μιας επιφάνειας σε συνδυασμό με την αεροδυναμική μεθοδολογία δικαιολογεί την συνολική διαφορά των 211 mm ET_o μεταξύ των δύο επιφανειών για όλη συνολικά την αναφερόμενη περίοδο των 99 ημερών. Η μέθοδος Hargreaves στην ξηρή επιφάνεια (EMY) υπερεκτιμά κατά 139 mm σε σχέση με την FAO56-PM στην θέση AUA, ενώ δεν διαφοροποιείται σημαντικά από τις αντίστοιχες τιμές ET_o Hargreaves (AUA) που λαμβάνονται στο ίδιο υπόβαθρο (125 mm).

Στο ακόλουθο πίνακα παρουσιάζονται οι υπερεκτιμήσεις σε mm/day και το ποσοστό τους σε σχέση με την πρότυπη μέθοδο FAO56-PM ET_o (4,6 mm/day) στην θέση AUA για την συνολική περίοδο 21 Μαΐου έως και 1 Σεπτεμβρίου του 2004:

Θέση Μέθοδος	Μέση τιμή mm/day	Υπερεκτίμηση (+) mm	(+) %
AUA/FAO56-PM	**4.6**	-	-
AUA/Hargreaves	5.8	1.3	27.5
EMY/FAO56-PM	6.7	2.1	46.6
EMY/Hargreaves	6.0	1.4	31.5

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Αν και η εργασία των Allen et al. (1998) αριθμεί πάνω από 9000 ετεροαναφορές σε διεθνή περιοδικά, ο αριθμός των επιστημόνων που επισημαίνουν τη σπουδαιότητα και τη σημασία της καλλιέργειας αναφοράς με επάρκεια νερού, είναι αρκετά περιορισμένος. Η εργασία αυτή επισημαίνει ως κύριο συμπέρασμα ότι η χρήση εκτιμήσεων της ET_o από μη τυποποιημένες επιφάνειες αναφοράς επαρκώς εφοδιαζόμενες με νερό μπορεί να οδηγήσει σε υπερεκτίμηση των υδατικών αναγκών που υπερβαίνει τα 2,5 χιλιάδες m^3 νερού ανά εκτάριο για μια καλλιεργητική περίοδο 120 ημερών. Έχει δημιουργηθεί η ψευδής εντύπωση ότι η επάρκεια των παραμέτρων για την χρήση της συνιστώμενης μεθόδου FAO56-PM θα δώσει και ακριβείς εκτιμήσεις για τον προγραμματισμό άρδευσης. Οι εκτιμήσεις ET_o με την μέθοδο Hargreaves, ελαχιστοποιούν τα σφάλματα κατά 15%, στην περίπτωση που οι μετρήσεις δεν λαμβάνονται από σταθμό με τυποποιημένη καλλιέργεια αναφοράς. Επίσης θα πρέπει να επισημανθεί ότι υπερεκτιμήσεις της ET_o οδηγούν σε υπεράντληση αρδευτικού νερού και σπατάλη ηλεκτρικής ενέργειας, με συνέπεια την υποβάθμιση της ποιότητας των υπογείων υδάτων αλλά αντίστοιχα και την αύξηση κόστους παραγωγής.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Οι συγγραφείς ευχαριστούν θερμά την Διοίκηση και το επιστημονικό προσωπικό της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας, που με προθυμία χορήγησαν όλα τα απαραίτητα στοιχεία και υλικό, για την ολοκλήρωση αυτής της εργασίας.

6.ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Alexandris S., Kerkides P., Liakatas A. (2006). Daily reference evapotranspiration estimates by the "Copais" approach. Agricultural water Management, Vol.82, Issue 3, 24 l, pp. 371-386.

Allen R.G.,1996. Assessing Integrity of Weather Data for Reference Evapotranspiration Estimation. J. of Irrigation and Drainage Engineering, Vol. 122, No. 2, pp. 97-106, Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M., 1998. Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements. United Nations Food and Agriculture Organization, Irrigation and Drainage Paper 56.Rome, Italy, 300 pp.

Allen, G.R., Pereira, L.S., Raes, D. and Smith, M., 1998. ''Crop Evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements.'' *FAO Irrigation and Drainage Paper 56.* FAO, Rome, Italy, 78-86.

Allen, R.G., W.O. Pruitt, J.L. Wright, T.A. Howell, F. Ventura, R. Snyder, D. Itenfisu, P. Steduto, J. Berengena, J.B. Yrisarry, M. Smith, L.S. Pereira, D. Raes, A. Perrier, I. Alves, I. Walter, and R. Elliott. 2006. A recommendation on standardized surface resistance for hourly calculation of reference ET_o by the FAO56 Penman-Monteith method. Agric. Water Manage. 81:1–22.

ASCE-EWRI, 2005. The ASCE Standardized Reference Evapotranspiration Equation. Technical Committee report to the Environmental andWater Resources Institute of the American Society of Civil Engineers from the Task Committee on Standardization of Reference Evapotranspiration. ASCE-EWRI, 1801 Alexander Bell Drive, Reston, VA 20191-4400, 173 pp.

Hargreaves, G.H., & Samani, Z.A. (1985). Reference crop evapotranspiration from ambient air temperature. Paper No. 85-2517. American society of agricultural engineers.Chicago, IL.

Kashyap P.S., R.K. Panda, 2001. Evaluation of evapotranspiration estimation methods and development of crop-coefficients for potato crop in a sub-humid region. Agricultural Water Management, 50 (1):9-25

WMO, 2008. WMO Guide To Meteorological Instruments And Methods Of Observation. Part I, Chapter 2. 7th edition.

Yoder,R.E., T.W. Ley and R.L. Elliott. 2000. Measurement and reporting practices for automatic agricultural weaqther stations. Proceedings of the 4th National Irrigation Symposium, ASAE, St. Joseph, MI

Αλεξανδρής Σ., 2003. "Συγκριτική αξιολόγηση μεθόδων εξατμισοδιαπνοής κάτω από Ελληνικές συνθήκες". Διδακτορική Διατριβή, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών.

Προύτσος Ν., Α. Λιακατάς, Α. Κοτρώζου και Σ. Αλεξανδρής, 2009. Μικρομετεωρολογικές συνθήκες και υδατοδιαθεσιμότητα για πατατοπαραγωγή στην Αρκαδία. Πρακτικά 6ου Πανελληνίου Συνεδρίου Γεωργικής Μηχανικής, σελ. 115-122. Θεσσαλονίκη, 8-10/9/2009.

ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΕΔΑΦΙΚΟΥ ΝΕΡΟΥ ΚΑΙ ΑΓΡΟΧΗΜΙΚΩΝ ΣΕ ΚΑΛΛΙΕΡΓΗΜΕΝΟ ΕΔΑΦΟΣ ΜΕ ΕΝΑ ΜΟΝΤΕΛΟ ΔΙΠΛΗΣ ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ

Βασίλειος Αντωνόπουλος[1] , Δωροθέα Γιαννούλη[2] και Πανταζής Γεωργίου[3]
Τομέας Εγγείων Βελτιώσεων, Εδαφολογίας και Γεωργικής Μηχανικής, Γεωπονική Σχολή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 54124 Θεσσαλονίκη
[1]vasanton@agro.auth.gr, [2]dorothgd@agro.auth.gr, [3]pantaz@agro.auth.gr

Στην εργασία περιγράφεται και αξιολογείται η προσομοίωση της δυναμικής του εδαφικού νερού και ενός ζιζανιοκτόνου, σε αρδευόμενο αγρό της Σίνδου όπου καλλιεργείται καλαμπόκι. Στην προσομοίωση χρησιμοποιήθηκε το μαθηματικό μοντέλο MACRO, ένα μονοδιάστατο μοντέλο διπλής διαπερατότητας που περιγράφει την κίνηση του νερού, τη θερμοκρασία του εδάφους καθώς και τη μεταφορά και τους μετασχηματισμούς των ουσιών στο έδαφος, λαμβάνοντας υπόψη την επιλεκτική ροή. Τα αποτελέσματα συγκρίνονται με τις μετρημένες τιμές της περιεχόμενης εδαφικής υγρασίας σε συγκεκριμένα εδαφικά βάθη και αξιολογούνται με στατιστικά κριτήρια. Γίνεται σύγκριση των αποτελεσμάτων από την εφαρμογή του μοντέλου με ή χωρίς ροή από τους μακροπόρους. Η έλλειψη δεδομένων για την ουσία του φυτοφαρμάκου στο έδαφος και η αβεβαιότητα εκτίμησης των παραμέτρων αντιμετωπίζονται με ανάλυση ευαισθησίας. Η οριακή τιμή του ύψους πίεσης και η σταθερά αποικοδόμησης της ουσίας, αποδείχθηκαν πιο σημαντικές.

Λέξεις κλειδιά: MACRO, επιλεκτική ροή, ζιζανιοκτόνο, έκπλυση, τερμπουθυλαζίνη

SOIL WATER AND AGROCHEMICAL SIMULATION IN A CULTIVATED AREA USING A DUAL PERMEABILITY MODEL

Vassilis Antonopoulos [1] , Dorothea Giannouli [2] and Pantazis Georgiou [3]
Department of Hydraulics, Soil Science and Agricultural Engineering, School of Agriculture, Aristotle University of Thessaloniki, 54124 Thessaloniki
[1]vasanton@agro.auth.gr, [2]dorothgd@agro.auth.gr, [3]pantaz@agro.auth.gr

The present study describes and evaluates the simulation of the dynamics of soil water and dissolved pesticides of an irrigated area near Sindos, planted with corn. The simulation took place with the mathematical model MACRO, a one-dimensional dual permeability model that describes the movement of soil water, temperature, and the transport and transformations of substances in soil, considering preferential flow. The results of the simulation are compared to the measured values of the soil moisture in specific depths, using statistical criteria. Moreover, the results obtained from the application of the model, due to preferential flow, are compared to the ones obtained without taking in mind the flow through macropores. The lack of pesticide measurements and the uncertainty of estimating model parameters are confronted by executing a sensitivity analysis. The pressure head at the boundary of macro- to microporosity and the degradation coefficient were the most sensitive.

Key words: MACRO, preferential flow, herbicide, leaching, terbuthylazine

1. 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η γεωργία είναι η σημαντικότερη πηγή υπολειμμάτων φυτοφαρμάκων στο έδαφος και τα υπόγεια νερά. Στα εδάφη με διαμορφωμένη δομή, το νερό κινείται ταχύτερα μέσω των μακροπόρων με αποτέλεσμα να παρακάμπτεται το μεγαλύτερο μέρος της εδαφικής φάσης. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται "επιλεκτική ροή". Συνυφασμένο με το φαινόμενο αυτό είναι το γεγονός ότι το ταχέως κινούμενο προς τα βαθύτερα εδαφικά στρώματα νερό, δεν έχει στη διάθεσή του τον απαιτούμενο χρόνο να αλληλεπιδράσει πλήρως με τις βιολογικά και χημικά ενεργές ανώτερες στρώσεις του εδάφους, με αποτέλεσμα τη μεταφορά ουσιών σε βάθη που δεν είναι αναμενόμενα, με βάση την κλασική θεώρηση της εξίσωσης του Darcy και την ημιπερίοδο ζωής των ουσιών **(**Simunek et al., 2003**).**

Η εκτίμηση της επικινδυνότητας ρύπανσης των υπογείων νερών από την έκπλυση αγροχημικών και άλλων φυτοπροστατευτικών ουσιών, γίνεται με τη χρήση μαθηματικών μοντέλων, συστημάτων GIS και άλλων τεχνικών (δείκτες, γεωστατιστική, κτλ). Τα μαθηματικά μοντέλα χρησιμοποιούνται ευρέως λόγω της ευκολίας στην εκτέλεσή τους, αλλά και της αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων τους (Knisel, 1993, Li et al., 1999; Tiktak et al, 2000; Antonopoulos, 2001; Ma et al., 2004). Ένα μοντέλο διπλής διαπερατότητας, πολύ δημοφιλές, είναι το MACRO (Larsbo and Jarvis, 2003). Το MACRO έχει χρησιμοποιηθεί σε πλήθος εργασιών (Gardenas et al., 2006; Van Daele et al., 2007; Antonopoulos et al., 2013) γιατί η δομή του είναι απλή και κατανοητή, έχει τη δυνατότητά να εκτελεί τις προσομοιώσεις τόσο ως μοντέλο απλού όσο και διπλού πορώδους και κυρίως, απαιτεί μόνο λίγες και εύκολα μετρήσιμες παραμέτρους για την εφαρμογή του.

Στην εργασία γίνεται εφαρμογή του MACRO υπό τις συνθήκες της βλαστικής περιόδου του καλαμποκιού του έτους 1996 σε αγρό της περιοχής της Θεσσαλονίκης. Πραγματοποιείται ρύθμιση του μοντέλου με τις μετρημένες τιμές εδαφικής υγρασίας και εφαρμογή του, ώστε να προσομοιωθούν οι διαδικασίες της επιλεκτικής ροής. Ο σκοπός της εργασίας είναι: (α) η επαλήθευση της δυνατότητας του μοντέλου να περιγράφει τη διακύμανση της εδαφικής υγρασίας, (β) η μελέτη της επιλεκτικής ροής και του ισοζυγίου του νερού στο

καλλιεργούμενο έδαφος και (γ) η μελέτη των διακυμάνσεων και των υπολειμμάτων στο έδαφος ενός κοινού ζιζανιοκτόνου για το καλαμπόκι.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1 Περιγραφή του μοντέλου MACRO

Το μαθηματικό μοντέλο MACRO είναι ένα μονοδιάστατο ως προς την κατακόρυφο μοντέλο, που περιγράφει τη ροή του νερού, τη μεταβολή της θερμοκρασίας και τη μεταφορά και το μετασχηματισμό των φυτοπροστατευτικών ουσιών στο έδαφος, συνυπολογίζοντας την επιλεκτική ροή. Το μοντέλο είναι διπλής διαπερατότητας, όπου το πορώδες διακρίνεται σε δύο περιοχές (μικροπόρους και μακροπόρους), καθεμία από τις οποίες χαρακτηρίζεται από συγκεκριμένο βαθμό κορεσμού, αγωγιμότητας και κίνησης του νερού, αλλά και συγκέντρωσης και ροής της ουσίας στο έδαφος (Larsbo and Jarvis, 2003). Το όριο μεταξύ μακροπορώδους και μικροπορώδους ορίζεται από τις οριακές τιμές του δυναμικού πίεσης ψ_b και της αντίστοιχης υγρασίας θ_b. Στη συνέχεια παρουσιάζεται μια σύντομη περιγραφή των βασικών εξισώσεων κίνησης του νερού στο έδαφος καθώς πλήρη περιγραφή του μοντέλου δίνεται από τους Larsbo and Jarvis (2003).

Η κίνηση του εδαφικού νερού στους μικροπόρους ως προς την κατακόρυφη διεύθυνση περιγράφεται από την εξίσωση του Richards (Αντωνόπουλος, 1999) που έχει τη μορφή:

$$C\frac{\partial\psi}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z}\left(K\left(\frac{\partial\psi}{\partial z}+1\right)\right) - \sum S_i \quad (1)$$

όπου ψ είναι το ύψος πίεσης, $C = \partial\theta/\partial\psi$ η υδραυλική χωρητικότητα του εδάφους (cm^{-1}), t ο χρόνος (sec), z το βάθος (cm), K η ακόρεστη υδραυλική αγωγιμότητα (cm s^{-1}) και $\sum S_i$ το άθροισμα των απωλειών-εισροών του εδαφικού νερού (s^{-1}), ως αποτέλεσμα της ανταλλαγής του με το μακροπορώδες, τη στράγγιση και την πρόσληψη εδαφικού νερού από τις ρίζες. Η κίνηση του νερού στους μακροπόρους περιγράφεται με μία ανάλογη εξίσωση, αγνοώντας τις τριχοειδείς δυνάμεις στους μακροπόρους ώστε η κίνηση του νερού να γίνεται αποκλειστικά από τη βαρύτητα. Η εξίσωση αυτή έχει τη μορφή:

$$\frac{\partial\theta_{ma}}{\partial t} = \frac{\partial K_{ma}}{\partial z} - \sum S_i \quad (2)$$

όπου θ_{ma} (cm^3 cm^{-3}) και K_{ma} (cm s^{-1}) είναι η περιεχόμενη υγρασία κατ'όγκο και η υδραυλική αγωγιμότητα στους μακροπόρους αντίστοιχα. Αφού το K_{ma} είναι συνάρτηση του θ_{ma}, η προσέγγιση που περιγράφει την κίνηση του νερού στους μακροπόρους ισοδυναμεί με την προσέγγιση του κινηματικού κύματος, όπως περιγράφεται από τις εξισώσεις του Germann (1985). Η ανταλλαγή νερού ανάμεσα στις δύο φάσεις γίνεται με βάση την κλίση της υγρασίας (από μάκρο σε μικροπορώδες). Η χαρακτηριστική καμπύλη του εδαφικού νερού στους μικροπόρους δίνεται από την τροποποιημένη εξίσωση του van Genuchten (1980):

$$S = \frac{\theta_{mi}-\theta_r}{\theta_s^*-\theta_r} = \left(1+\left(a_{vg}\psi\right)^{n_{vg}}\right)^{-m_{vg}} \quad (3)$$

όπου S είναι ο αποτελεσματικός βαθμός κορεσμού της εδαφικής υγρασίας, m_{vg}, n_{vg} και a_{vg} οι παράμετροι της εξίσωσης van Genuchten με $m_{vg} = 1 - 1/n_{vg}$, θ_r είναι η υπολειμματική εδαφική υγρασία (cm^3 cm^{-3}) και θ_s^* μια "φαινομενική" κορεσμένη εδαφική υγρασία (cm^3·cm^{-3}) που αποκτάται με προσαρμογή της εξίσωσης (3) στα δεδομένα της χαρακτηριστικής καμπύλης συγκράτησης για δυναμικά μικρότερα του ψ_b.

Για τον υπολογισμό του υδατικού ισοζυγίου, είναι απαραίτητη η εισαγωγή της βροχόπτωσης και της άρδευσης, των μετεωρολογικών δεδομένων της περιοχής μελέτης, και της δυναμικής εξατμισοδιαπνοής η οποία υπολογίζεται είτε από το χρήστη, είτε από το μοντέλο με τη συνδυασμένη μέθοδο Penman- Monteith. Η πρόληψη νερού από το ριζικό σύστημα των φυτών υπολογίζεται με βάση τη ζήτηση για διαπνοή, την κατανομή των ριζών και τη διαθέσιμη εδαφική υγρασία χρησιμοποιώντας την απλή εμπειρική συνάρτηση απώλειας του Jarvis (1989), ενώ το νερό αποσπάται επιλεκτικά από τους μακροπόρους. Αν η διαφορά της καθαρής βροχόπτωσης R από την εξάτμιση από το έδαφος E_s είναι μικρότερη από την επιφανειακή διηθητικότητα I_{max}, τότε η πάνω οριακή συνθήκη είναι γνωστής ροής (συνθήκη Neumann), διαφορετικά δίνεται από μία γνωστή τιμή (συνθήκη Dirichlet), ενώ η κάτω οριακή συνθήκη επιλέγεται ανάλογα με την περίπτωση.

Η μεταφορά ουσιών στους μικροπόρους περιγράφεται με την εξίσωση μετακίνησης-διασποράς

$$\frac{\partial\left(c\theta_{mi(m)}+(1-f-f_{ne})\gamma s\right)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z}\left(D\theta_{mi(m)}\frac{\partial c}{\partial z} - qc\right) - \sum U_i \quad (4)$$

όπου c είναι η συγκέντρωση της ουσίας στην υγρή φάση (mg cm^{-3}), s η προσροφημένη συγκέντρωση της ουσίας στα στερεά του εδάφους (mg mg^{-1}), γ είναι η φαινομένη πυκνότητα του εδάφους, f το κλάσμα της μάζας των εδαφικών τεμαχιδίων που βρίσκεται σε επαφή με το νερό στους μακροπόρους, f_{ne} το κλάσμα των εδαφικών τεμαχιδίων που παρέχουν θέσεις για προσρόφηση ουσιών σε κατάσταση αστάθειας, $\theta_{mi(m)}$ το κινούμενο εδαφικό νερό (cm^3 cm^{-3}), q η παροχή του νερού (cm s^{-1}) και D ο συντελεστής διασποράς (cm^2 s^{-1}). Ο όρος $\sum U_i$ περιγράφει το άθροισμα των απωλειών-εισροών του συστήματος (mg cm^{-3} s^{-1}), δηλαδή την ανταλλαγή μάζας μεταξύ μίκρο/μακροπορώδους, την κινητική προσρόφηση, την πρόσληψη των ουσιών από τα φυτά, πλευρικές απώλειες έκπλυσης προς τα αυλάκια ή τους υπόγειους υδροφορείς και τη βιοαποικοδόμηση.

Μια εξίσωση αντίστοιχη της (4) περιγράφει τη μεταφορά μάζας στο μακροπορώδες, στην οποία δεν περιλαμβάνονται η διασπορά και η κινητική προσρόφηση επειδή θεωρούνται μηδενικές (D και f_{ne} είναι μηδέν). Η προσρόφηση στην κατάσταση ισορροπίας περιγράφεται από τη μη γραμμική ισόθερμη του Freundlich:

$$S = k_f c^m \quad (5)$$

όπου k_f είναι η σταθερά προσρόφησης και m είναι ο εκθέτης Freundlich.

Ο υπολογισμός των ρυθμών αποικοδόμησης για καθεμία από τις τέσσερις περιπτώσεις (υγρή ή στερεή προσρόφηση σε μίκρο/μακροπορώδες) γίνεται με πρώτης τάξης κινητικές αντιδράσεις. Κάθε περίπτωση χαρακτηρίζεται από διαφορετικό ρυθμό αποικοδόμησης μ_{ref}. Οι πραγματικοί ρυθμοί αποικοδόμησης στο πεδίο εκτιμώνται με εργαστηριακά δεδομένα αναφοράς, και

είναι συνάρτηση της υγρασίας (F_w) και θερμοκρασίας (F_t) του αγρού (Boesten and Van der Linden, 1991):

$$\mu = \mu_{ref} F_w F_t \quad (6)$$

Αν προσομοιώνεται στο μοντέλο ο μεταβολίτης ενός φυτοπροστατευτικού, η αποικοδομημένη μάζα του αρχικού φυτοφαρμάκου (ως συνάρτηση του βάθους και του χρόνου) χρησιμοποιείται σαν όρος προσθήκης στην εξίσωση (4), οπότε εφαρμόζεται στη μάζα αυτή ένας ορισμένος από τον χρήστη παράγοντας μετατροπής, ώστε να ληφθούν υπόψη αλλαγές στο μοριακό βάρος ή πρόσθετα παράλληλα με τις διαδικασίες μετασχηματισμού.

2.2 Πειραματικά δεδομένα

Το μαθηματικό μοντέλο MACRO εφαρμόστηκε με τα δεδομένα από ένα πειραματικό αγρό του Ινστιτούτου Εγγείων Βελτιώσεων στην περιοχή της Σίνδου (Antonopoulos, 2001). Σε τμήμα του αγρού έκτασης 0,2 ha καλλιεργήθηκε καλαμπόκι, η σπορά του οποίου έγινε στις 7/5 και η συγκομιδή του στις 9/10 του 1996. Λεπτομέρειες του πειραματικού και της συλλογής δεδομένων δίνονται στο άρθρο Antonopoulos (2001). Οι εδαφικές ιδιότητες, η φαινόμενη πυκνότητα ρ_b , ο % οργανικός άνθρακας OC και οι παράμετροι των υδραυλικών συναρτήσεων δίνονται στους Πίνακες 1 και 2 αντίστοιχα. Το έδαφος αποτελείται από δύο ορίζοντες και στην υφή του χαρακτηρίζεται ως αμμώδης πηλός (0-55 cm) και πηλώδες (55-120 cm). Η μέγιστη τιμή του δείκτη φυλλικής επιφάνειας είναι 4,6 και του ριζοστρώματος 1,05 m. Η βροχόπτωση για το διάστημα Μάιος–Νοέμβριος 1996 μετρήθηκε στα 148,3 mm, ενώ η ημερήσια δυναμική εξατμισοδιαπνοή υπολογίστηκε σύμφωνα με τη μέθοδο Penman (Doorenbos and Pruitt, 1977) και είναι ίση με 739,2mm.

Πίνακας 1. Ιδιότητες του εδάφους

Βάθος cm	Άμμος %	Ιλύς %	Άργιλος %	ρ_b gr/cm^3	OC %
0-30	50,6	30,7	18,7	1,588	1,73
30-55	44,6	28,7	26,7	1,555	0,35
55-80	59,6	25,7	14,7	1,516	0,22
80-120	70,6	19,7	10,7	1,498	0,07

Πίνακας 2. Υδραυλικές παράμετροι του εδάφους

Βάθος cm	θ_s, cm^3/cm^3	θ_r, cm^3/cm^3	α, 1/cm	n	K_{sat} ,mm/hr
0-30	0,4006	0,02	0,0111	1,1290	0,3125
30-55	0,4132	0,05	0,0030	1,1149	1,1792
55-80	0,4281	0,02	0,0066	1,3003	3,3833
80-120	0,4455	0,01	0,1167	1,1621	3,3833

Αρδεύσεις πραγματοποιήθηκαν κατά το διάστημα 13/6 έως 3/9/1996 με συνολικό ύψος νερού 384,4 mm, ενώ στις 13/6 εφαρμόστηκε στον αγρό ζιζανιοκτόνο με δραστική ουσία την τερμπουθυλαζίνη (terbuthylazine) σε δοσολογία 190 gr/στρέμμα και με ρυθμό εφαρμογής 1 kg/ha. Οι φυσικοχημικές ιδιότητες της ουσίας δίνονται στον Πίνακα 3 (Behrendt and Bruggemann,1992; Ma et al, 2004).

2.3 Έλεγχος των αποτελεσμάτων

Η προσομοίωση του εδαφικού νερού και της ουσίας έγινε για το χρονικό διάστημα 1/5 έως 27/11/1996. Η

Πίνακας 3. Φυσικοχημικές ιδιότητες Τερμπουθυλαζίνης

Μοριακή μάζα (g/mol)	229,5
Πίεση κορεσμού ατμών (Pa)	1,5x10^{-4}
Διαλυτότητα στο νερό (mg/L)	8,5
Συντελεστής κατανομής προσρόφησης K_f (cm^3/g)	2,59
Εκθέτης Freundlich m	0,9
Συντελεστής αποικοδόμησης μ_{ref} (day^{-1})	0,0182
DT_{50} (days)	35

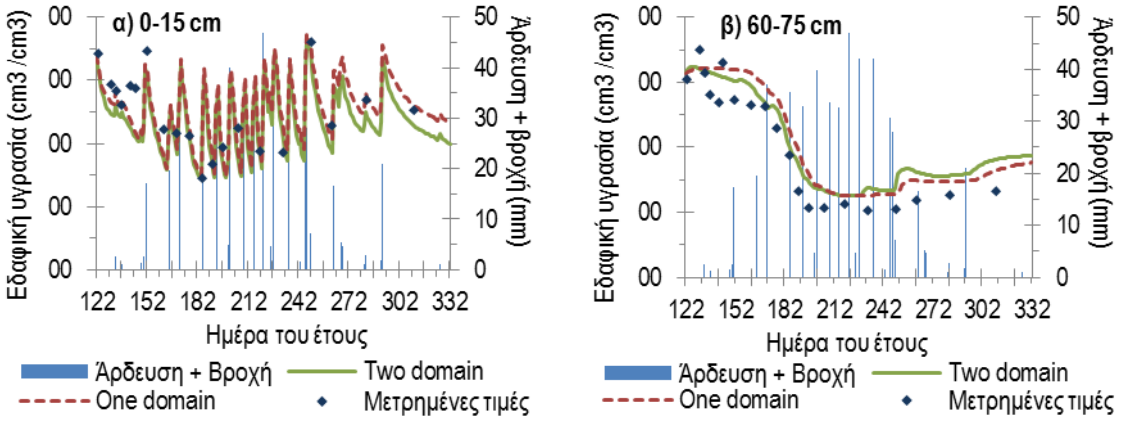
συμφωνία μεταξύ μετρημένων και υπολογισμένων τιμών εδαφικής υγρασίας ελέγχεται με την χρήση τριών στατιστικών κριτηρίων που προτάθηκαν από τους Loague & Green (1991) και τον Antonopoulos (2000, 2006) τα οποία είναι: α) το μέσο σφάλμα E (average error) (cm^3 cm^{-3}) με βέλτιστη τιμή μηδέν, β) το μέσο ανηγμένο τετραγωνικό σφάλμα RMSE (Root Mean Square Error) (%), το οποίο έχει ελάχιστη και συγχρόνως βέλτιστη τιμή το μηδέν και είναι αρκετά ευαίσθητο σε απομακρυσμένες τιμές και γ) ο συντελεστής ελλείμματος μάζας CRM (Coefficient of Residual Mass) ο οποίος κυμαίνεται από -∞ έως +∞ ,με βέλτιστη τιμή μηδέν. Όταν η τιμή του συντελεστή είναι θετική, συνεπάγεται ότι το μοντέλο δίνει υποεκτιμήσεις των μετρημένων τιμών, ενώ το αντίθετο ισχύει για τις αρνητικές τιμές του συντελεστή.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

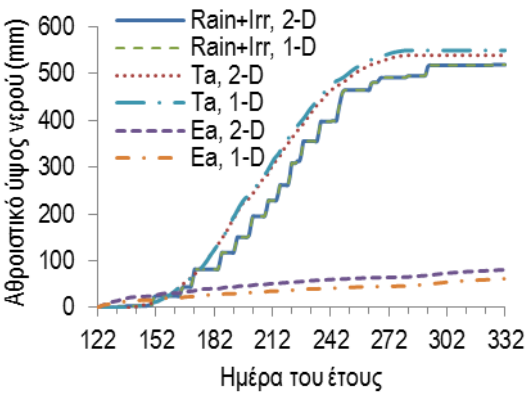
3.1 Αποτελέσματα εδαφικού νερού

Στο Σχήμα 1 παρουσιάζεται η διακύμανση της εδαφικής υγρασίας σε δύο στρώσεις του εδάφους (0-15 cm και 60-75 cm αντίστοιχα), όπως υπολογίστηκαν από το μοντέλο, θεωρώντας στην πρώτη περίπτωση ότι η ροή γίνεται ταυτόχρονα δια μέσου των μακροπόρων και των μικροπόρων (περίπτωση *διπλού πορώδους*), ενώ στη δεύτερη ότι το έδαφος είναι ομογενές, αγνοώντας τη ροή στους μακροπόρους και θεωρώντας ροή νερού μόνο δια μέσου του μικροπορώδους (περίπτωση απλού *πορώδους*). Οι παράμετροι άρδευση και βροχόπτωση, πραγματική διαπνοή και πραγματική εξάτμιση του υδατικού ισοζυγίου από την αρχή της προσομοίωσης και για τις δύο περιπτώσεις (διπλού και απλού πορώδους) απεικονίζονται στο Σχήμα 2. Η πραγματική διαπνοή που προκύπτει για το διπλό πορώδες είναι μικρότερη αυτής που προκύπτει για το απλό, ενώ το αντίθετο συμβαίνει για την πραγματική εξάτμιση.

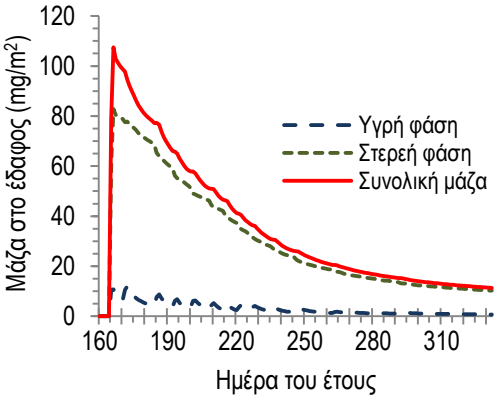
Τα στατιστικά κριτήρια για τις εφαρμογές του μοντέλου στον αγρό δίνονται στον Πίνακα 4. Σύμφωνα με αυτά, στην ανώτερη στρώση των 0-15 cm η περίπτωση του απλού πορώδους δίνει καλύτερες τιμές σε σχέση με αυτές του διπλού, ενώ στα 60-75 cm καλύτερες τιμές δίνει η περίπτωση διπλού πορώδους. Στην πρώτη στρώση υπάρχουν τόσο υποεκτιμήσεις όσο και υπερεκτιμήσεις των τιμών, ενώ στα 60-75 cm και οι δύο περιπτώσεις δίνουν υπερεκτιμημένες τιμές εδαφικής υγρασίας σε σχέση με τις μετρημένες. Κατά μέση τιμή για όλες τις στρώσεις και οι δύο περιπτώσεις δίνουν υπερεκτιμημένες τιμές, ενώ καλύτερες προκύπτουν στην περίπτωση του διπλού πορώδους.



Σχήμα 1. Σύγκριση των υπολογισμένων με τις μετρημένες τιμές εδαφικής υγρασίας των εδαφικών στρώσεων στα α) 0-15 cm και β) 60-75 cm με την παραδοχή του μοντέλου MACRO να περιγράφει ροή σε διπλό και απλό πορώδες



Σχήμα 2: Συνιστώσες του υδατικού ισοζυγίου για την περίοδο 1/5-27/11/1996



Σχήμα 3: Μεταβολή της συγκέντρωσης της ουσίας στους μικροπόρους έως το τέλος της προσομοίωσης

Πίνακας 4. Στατιστικά κριτήρια

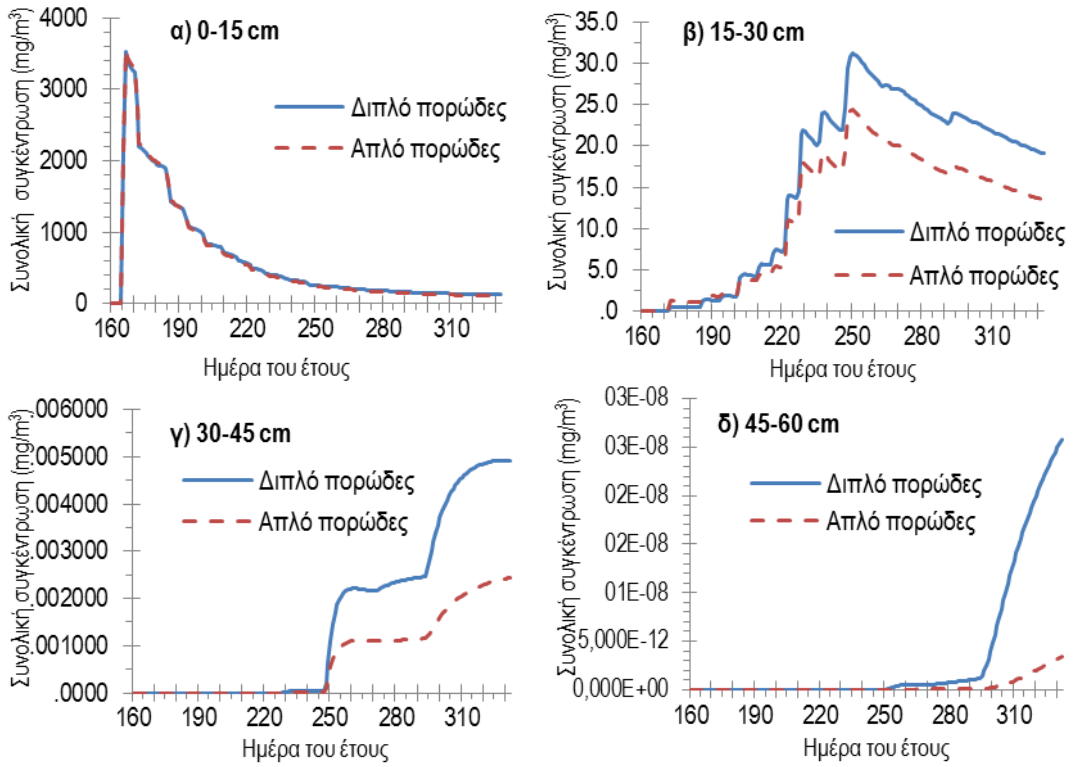
Two domain			
Βάθος (cm)	E	RMSE	*CRM*
7,5	-0,014	22,328	0,056
22,5	0,012	12,796	-0,055
67,5	0,023	15,382	-0,112
97,5	0,014	21,533	-0,063
Average	0,009	18,009	-0,043
One domain			
Βάθος (cm)	E	RMSE	*CRM*
7,5	0,002	22,620	-0,008
22,5	0,021	15,155	-0,093
67,5	0,028	16,676	-0,135
97,5	0,016	25,268	-0,074
Average	0,017	19,930	-0,078

3.2 Αποτελέσματα της τύχης του ζιζανιοκτόνου

Η πρόβλεψη της τύχης μιας ουσίας στο έδαφος και της έκπλυσής της στα υπόγεια νερά χωρίς την ύπαρξη των απαραίτητων δεδομένων και μετρημένων τιμών, αποτελεί μια πρόκληση, ιδίως όταν συμπεριλαμβάνεται η επιλεκτική ροή. Παρά τη «φτωχή» εκτίμηση των τιμών έκπλυσης, το MACRO μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την πρόβλεψη της επικινδυνότητας ρύπανσης των υπογείων νερών (Simunek, 2003, Moeys et al.,2012).

Η μεταβολή της μάζας στο εδαφικό προφίλ στην υγρή και στερεή φάση των μικροπόρων φαίνεται στο Σχήμα 3. Ο ρυθμός εφαρμογής της ουσίας είναι 1 kg/ha (100 mg/m^2). Η μέγιστη τιμή στη στερεή φάση είναι τα 82 mg/m^2 και στην υγρή τα 10 mg/m^2.

Στο Σχήμα 4 δίνεται η μεταβολή της μέσης τιμής της συγκέντρωσης της ουσίας στους μικροπόρους και τους μακροπόρους, στην υγρή και στερεή φάση για τις εδαφικές στρώσεις των 0-15, 15-30, 30-45 και 45-60 cm, για τις περιπτώσεις διπλού και απλού πορώδους. Στην πρώτη εδαφική στρώση η μέση τιμή της συγκέντρωσης στο απλό και το διπλό πορώδες. ταυτίζεται. Η ουσία παραμένει στη στρώση για περίπου 3 μήνες, ενώ η συγκέντρωσή της σταθεροποιείται περίπου την 270η ημέρα. Στη στρώση των 15-30 cm η ουσία εμφανίζεται 25 ημέρες μετά την εφαρμογή της. Η μεταβολή στη συγκέντρωση οφείλεται στη μικρή ημιπερίοδο ζωής της τερμπουθυλαζίνης, στη δομή του εδάφους αλλά και στην υψηλή θερμοκρασία που επιταχύνει την αποικοδόμηση. Η μέγιστη τιμή της συγκέντρωσης εμφανίζεται την 250η μέρα, με 31 mg/m^3 στην περίπτωση του διπλού πορώδους και 24 mg/m^3 για το απλό πορώδες. Απόκλιση ανάμεσα στις δύο περιπτώσεις εμφανίζεται μετά την 230η μέρα. Στη στρώση των 30-45 cm η ουσία εμφανίζεται την 250η μέρα ενώ στην τελευταία στρώση των 45-60 cm η ουσία εμφανίζεται 4.5 μήνες μετά την εφαρμογή της, με σημαντική διαφορά τιμών ανάμεσα στις δύο περιπτώσεις. Οι συγκεντρώσεις που καταγράφηκαν είναι σημαντικά μικρότερες από το όριο της ΕΕ των 0.1 μg L^{-1} (ή 0.1 mg/m^3).



Σχήμα 4: Μεταβολή της μέσης τιμής της συνολικής συγκέντρωσης της ουσίας στην εδαφική στρώση των α) 0-15 cm, β) 15-30 cm, γ) 30-45 cm, και δ) 45-60 cm για την περίπτωση διπλού και απλού πορώδους

3.3 Έκπλυση προς τα υπόγεια νερά

Η τερμπουθυλαζίνη είναι μια ουσία με χαμηλή διαλυτότητα στο νερό (8.5 mg/L) η οποία αντικατέστησε ζιζανιοκτόνα ευρείας χρήσης (π.χ. ατραζίνη), ενώ παραμένει στο έδαφος για μικρό χρονικό διάστημα μετά την εφαρμογή της (James et al., 1998).

Τα αποτελέσματα του μοντέλου δείχνουν ότι η συγκέντρωση της ουσίας στην τελευταία εδαφική στρώση των 80-120 cm, για το χρονικό διάστημα 1/5-27/11 είναι μηδενική, με αποτέλεσμα να μην υπάρχει έκπλυσή της προς τα υπόγεια νερά σ' αυτό το διάστημα. Οι Ma et al., (2004) αναφέρουν ότι μικρά ποσά της τερμπουθυλαζίνης εκπλύθηκαν κάτω από τα 5 cm και καθόλου κάτω από τα 10 cm, σε αντίστοιχες προσομοιώσεις σε αγρό καλαμποκιού, ενώ οι Fait et al., (2010) παρατήρησαν ότι με εφαρμογή συστήματος της στάγδην άρδευσης εκπλένονται ποσότητες πολύ μικρότερες του ορίου των 0,1 μg/L.

3.4 Ανάλυση ευαισθησίας

Στη διεθνή βιβλιογραφία συναντώνται πολλές εργασίες σχετικά με την ανάλυση ευαισθησίας για το MACRO (Kohne et al., 2009). Οι πιο ευαίσθητες παράμετροι είναι αυτές που σχετίζονται με την οριακή υγρασία ανάμεσα σε μίκρο και μακροπορώδες, αλλά και με την προσρόφηση και την αποικοδόμηση (Dubus and Brown, 2002). Η ποσότητα της ουσίας που υφίσταται έκπλυση μεταβάλλεται σημαντικά με κάθε αλλαγή του συντελεστή προσρόφησης ή του ρυθμού μετασχηματισμού (Boesten and Van der Linden, 1991).

Η ανάλυση πραγματοποιήθηκε μεταβάλλοντας μία παράμετρο τη φορά, ενώ οι υπόλοιπες παραμένουν σταθερές (ceteris paribus). Διερευνήθηκε η ευαισθησία στην υγρασία, την πραγματική εξατμισοδιαπνοή ET_a και τη μάζα στο προφίλ τη 270η μέρα, μεταβάλλοντας το ύψος πίεσης ψ, το αποτελεσματικό μήκος διάχυσης d, τη σταθερά προσρόφησης K_f, το συντελεστή αποικοδόμησης μ_{ref} και την παράμετρο f. Οι παράμετροι διπλασιάστηκαν και στη συνέχεια υποδιπλασιάστηκαν, εκτός από το f στο οποίο προσθαφαιρέθηκε το μισό. Για την εκτίμηση της επίδρασης στην αλλαγή των παραμέτρων χρησιμοποιήθηκε ο δείκτης ευαισθησίας:

$$\Delta = \left(\frac{P_v - P_s}{P_s}\right) 100\% \qquad (7)$$

όπου P_v είναι η τιμή που προκύπτει μεταβάλλοντας την παράμετρο και P_s η τιμή διατηρώντας την παράμετρο σταθερή.

Μεταβολή στην υγρασία παρατηρήθηκε μόνο με διπλασιασμό και υποδιπλασιασμό του ψ (Δ=-0,83% και Δ=0,86% αντίστοιχα) όπως επίσης και στην ET_a (Δ=±0,40%). Η μεταβολή του αποτελεσματικού μήκους διάχυσης δεν επηρέασε το υδρολογικό τμήμα. Σύμφωνα με τους Dubus et al. (2003) η οριακή υγρασία στα όρια μίκρο–μακροπόρων είναι η παράμετρος που επηρεάζει περισσότερο τη διήθηση. Οι μεγαλύτερες μεταβολές παρατηρούνται στη συγκέντρωση που είναι αποθηκευμένη στο εδαφικό προφίλ, διπλασιάζοντας και υποδιπλασιάζοντας το μ_{ref} (Δ=-81,49% και Δ=132,58% αντίστοιχα) και το κλάσμα f (Δ=±43,7%), ενώ ακολουθεί το ύψος πίεσης (Δ=4,65% και Δ=-2,94% με διπλασιασμό και υποδιπλασιασμό αντίστοιχα). Μικρότερες είναι οι μεταβολές για τις υπόλοιπες παραμέτρους, ενώ η μεταβολή του αποτελεσματικού μήκους διάχυσης δεν επηρεάζει τη μεταβολή της μάζας.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Το μοντέλο MACRO είναι ένα μαθηματικό μοντέλο που περιγράφει τη μεταβολή της εδαφικής υγρασίας στις εδαφικές στρώσεις, τη θερμοκρασία του εδάφους,

την τύχη των εφαρμοζόμενων ουσιών στο έδαφος και την έκπλυσή τους προς τα υπόγεια νερά, συνυπολογίζοντας την επιλεκτική ροή. Η διακύμανση της εδαφικής υγρασίας περιγράφηκε σε πολύ ικανοποιητικό βαθμό. Σε όλες τις στρώσεις, κατά μέση τιμή, και οι δύο περιπτώσεις δίνουν υπερεκτιμημένες τιμές, ενώ καλύτερες προκύπτουν στην περίπτωση του διπλού πορώδους. Η τύχη της ουσίας, χαρακτηρίζεται από αβεβαιότητα λόγω μη ύπαρξης μετρημένων τιμών. Στο συγκεκριμένο σενάριο δεν υπάρχει έκπλυση προς τα υπόγεια νερά. Οι πιο ευαίσθητες παράμετροι είναι το ύψος πίεσης στο όριο μικρο- μακροπορώδους και ο συντελεστής αποικοδόμησης μ_{ref}. Η ύπαρξη υψηλής συγκέντρωσης της ουσίας εξαρτάται από τις ιδιότητες της ουσίας, τα χαρακτηριστικά του εδάφους και την περιεκτικότητά του σε οργανική ουσία.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Antonopoulos, V.Z., 2000. Modelling of soil water dynamics in an irrigated corn field using direct and pedotransfer functions for hydraulic properties. Journal of Irrigation and Drainage Systems, 14: 325-342.

Antonopoulos V.Z., 2001. Simulation of Water and Nitrogen Balances of Irrigated and Fertilized Corn-Crop Soil. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, March-April 2001, 77-83.

Antonopoulos, V. Z., P. Georgiou and C. Kolotouros. 2013. Soil water dynamic in cropped and no cropped field in Northern Greece using a dual permeability model. Hydrological Sciences Journal. Accepted for publication.

Αντωνόπουλος Β., 1999. Υδρολογία της Ακόρεστης Ζώνης του Εδάφους. Έκδοση της υπηρεσίας δημοσιευμάτων του ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη, σελ.250

Αντωνόπουλος, Β., 2003. Ποιότητα και Ρύπανση Υπόγειων Νερών, Εκδόσεις ΖΗΤΗ, σελ.355.

Αντωνόπουλος, Β.Ζ., Γ. Φραγκούλης, Ε. Παπαδοπούλου-Μουρκίδου και Ζ. Βρύζας, 2011. Εκτίμηση του κινδύνου έκπλυσης φυτοπροστατευτικών ουσιών σε αγρό αραβοσίτου με το μοντέλο REARL 1.1.1., Πρακτικά 7ου Συνεδρίου Γεωργικής Μηχανικής, 24-27 Νοεμβρίου 2011, Αθήνα.

Behrendt, H., Bruggemann, R., 1993. Modelling the fate of organic chemicals in the soil plant environment: Model study of root uptake of pesticides. Chemosphere, 27(12): 2325-2332

Boesten, J.J.T.I & van der Linden, A.M.A. 1991. Modeling the influence of sorption and transformation on pesticide leaching and persistence. Journal of Environmental Quality 20: 425-435.

Doorenbos, J., and Pruitt, W.O., 1997. Crop Water Requirements. Irrig. and Drain. Paper No. 24, Food and Agriculture Organization (FAO) of the United Nations, Rome.

Dubus, G.I., Brown, C.D., Beulke,S., 2003. Sensitivity analyses for four pesticide leaching models. Pest Manag Sci 59:962–982

Dubus, I.G., and Brown, C.D.,2002. Sensitivity and First-Step Uncertainty Analyses for the Preferential Flow Model MACRO. Journal of Environmental Quality 1:227-24

Fait,G., Balderacchi, M., Ferrari, F., Ungaro, F., Capri, E., Trevisan, M., 2010. A field study of the impact of different irrigation practices on herbicide leaching. Europ. J. Agronomy 32:280–287

Gardenas, A.I., Simunek, J., Jarvis, N., Van Genuchten, M.Th., 2006. Two-dimensional modelling of preferential water flow and pesticide transport from a tile-drained field. Journal of Hydrology, 329: 647– 660

Germann, P., 1985. Kinematic wave approach to infiltration and drainage into and from soil macropores. Transactions of the ASAE 28: 745-749.

James, T.K., Rahman, A., Holland, P.T., Mcnaughton, E., Heiermann, M., 1998: Degradation and movement of terbuthylazine in soil. Proc. 51st N.Z. Plant Protection Conf., 157-161.

Jarvis, N.J., 1989. A simple empirical model of root water uptake. Journal of Hydrology 107, 57-72.

Knisel, W.G. (Ed.), 1993. GLEAMS, Groundwater Loading Effects of Agricultural Management Systems, Version 2.10. Publication No. 5. Biological and Agricultural Engineering Department, Coastal Plain Experiment Station, University of Georgia, pp 260

Köhne, J.M., Köhne, S., Šimůnek, J., 2009. A review of model applications for structured soils: b) Pesticide transport. Journal of Contaminant Hydrology 104: 36–60

Larsbo, M. and Jarvis, N.,2003. MACRO 5.0. A model of water flow and solute transport in macroporous soil. Technical description. Emergo 2003:6, Swedish University of Agricultural Sciences

Li, J., Prasher, S.O., Clemente, R.S., Reynolds, W.D., Smith, W.N., Gamble, D.S., Topp, E., Langford, C.H., Salehi, F., 1999. Modelling sorption behavior of atrazine on intact soil columns. Journal of irrigation and drainage engineering, 125(4):212-222

Loague, K.M., Green, R.E., 1991. Statistical and graphical methods for evaluating solute transport models: overview and application. Journal of Contaminant Hydrology. 7: 51-73.

Ma, Q. L., Rahman, A., James, T. K., Holland, P. T., McNaughton, D. E., Rojas, K. W., Ahuja, L. R., 2004. Modeling the Fate of Acetochlor and Terbuthylazine in the Field Using the Root Zone Water Quality Model. Soil Science Society of America Journal, 68:1491–1500.

Moeys, J., Larsbo, M., Bergstrom, L., Brown, C.D., Coquet, Y., Jarvis, N.J.,2012. Functional test of pedotransfer functions to predict water flow and solute transport with the dual-permeability model MACRO. Hydrol. Earth Syst. Sci., 16: 2069–2083

Simunek, J., Jarvis, N.J., Van Genuchten, M.Th., Gardenas, A., 2003. Review and comparison of models for describing non-equilibrium and preferential flow and transport in the vadose zone. Journal of Hydrology, 272: 14–35

Tiktak, A., Van den Berg, F., Boesten, J.J.T.I., Van Kraalingen, D.,Leistra, M., Van der Linden, A.M.A., 2000. Manual of FOCUS PEARL version 1.1.1. RIVM report 711401 008, Alterra report 28, National Institute Of Public Health And The Environment

Van den Daele, G.F.A., Barker, J.A., Connell, L.D., Atkinson, T.C., Darling, W.G., Cooper, J.D., 2007. Unsaturated flow and solute transport through the Chalk: Tracer test and dual permeability modeling. Journal of Hydrology, 342: 157–172

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΚΑΙ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΛΕΚΑΝΩΝ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΑΙΑΝΗΣ ΚΟΖΑΝΗΣ

Π. Γεωργίου[1], Α. Αντωνόπουλος[2] και Ζ. Αντωνόπουλος[3]
[1,2]Τομέας Εγγείων Βελτιώσεων, Εδαφολογίας και Γεωργικής Μηχανικής,
Γεωπονική Σχολή Α.Π.Θ. 54124 Θεσσαλονίκη
[3]Τομέας Υδραυλικής και Τεχνικής Περιβάλλοντος,
Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Α.Π.Θ., 54124 Θεσσαλονίκη
E-mail:[1]pantaz@agro.auth.gr, [2]athaanto@agro.auth.gr, [3]zisis_antonopoulos@yahoo.gr

Στον καποδιστριακό Δήμο Αιανής του Νομού Κοζάνης γίνεται πολύ μικρή αξιοποίηση των υδατικών πόρων και οι αρδευόμενες εκτάσεις σε σχέση με τις καλλιεργούμενες είναι αρκετά περιορισμένες. Επομένως υπάρχει δυνατότητα αύξησης των αρδευομένων εκτάσεων με τη μελέτη του υδατικού δυναμικού των λεκανών απορροής και την κατασκευή μικρών έργων (φράγματα, λιμνοδεξαμενές) που αποθηκεύουν νερό για άρδευση και εμπλουτισμό των υπόγειων υδροφορέων. Στην εργασία αυτή εντοπίζονται οι υδρολογικές λεκάνες της περιοχής καθώς επίσης και οι θέσεις κατά μήκος των κυρίων υδατορευμάτων που έχουν ενδιαφέρον για ταμίευση νερού. Προσδιορίζονται όλα τα χαρακτηριστικά των λεκανών ενώ γίνεται ανάλυση των μετεωρολογικών στοιχείων της περιοχής. Το μοντέλο βροχής – απορροής των Thornthwaite and Mather χρησιμοποιείται για την εκτίμηση του υδατικού ισοζυγίου και των απορροών των λεκανών απορροής. Η εκτίμηση των αρδευτικών αναγκών των καλλιεργειών γίνεται με τη βοήθεια της εξατμισοδιαπνοής τους και της ωφέλιμης βροχόπτωσης. Τα παραπάνω αποτελέσματα είναι χρήσιμα για την αξιοποίηση των υδατικών πόρων της περιοχής και το σχεδιασμό των προτεινόμενων έργων.

Λέξεις κλειδιά: Υδατικό ισοζύγιο, λεκάνη απορροής, μοντέλο Thornthwaite and Mather, αρδευτικές ανάγκες

INVESTIGATION AND UTILIZATION OF WATER RESOURCES IN AIANI KOZANI WATERSHEDS

P. Georgiou[1], A. Antonopoulos[2] and Z. Antonopoulos[3]
[1,2]Department of Hydraulics, Soil Science and Agricultural Engineering, Faculty of Agriculture
Aristotle University of Thessaloniki, 54124 Thessaloniki
[3]Department of Hydraulics and Environmental Engineering, Scholl of Civil Engineering
Aristotle University of Thessaloniki, 54124 Thessaloniki
E-mail:[1]pantaz@agro.auth.gr, [2]athaanto@agro.auth.gr, [3]zisis_antonopoulos@yahoo.gr

In the municipality of Aiani (Kapodistrias plan), prefecture of Kozani, the utilization of water resources and the irrigated land is very limited. There is potential to increase the irrigated land with the study of water availability in the watersheds and the construction of small projects (dams, reservoirs) for irrigation and recharge of groundwater. In this paper we investigate the watersheds and the positions along the main rivers that are interesting for construction of dams. The watershed characteristics are defined and the meteorological data are analyzed. The rainfall – runoff model of Thornthwaite and Mather is used to study the water balance and runoff evaluation of the watersheds. The irrigation water requirements are estimated by crop evapotranspiration and effective precipitation. The above results are usefull for utilization of water resources and design of proposed works.

Key words: Water balance, watershed, Thornthwaite and Mather model, irrigation water requirements

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ανάπτυξη μιας περιοχής και η αύξηση της παραγωγικότητας στη γεωργία, εξαρτώνται από τα εγγειοβελτιωτικά, τα υδρευτικά και τα αποχετευτικά έργα και τα έργα αειφορικής διαχείρισης των υδατικών πόρων. Ο βαθμός ανάπτυξης των έργων αξιοποίησης των επιφανειακών υδατικών πόρων στη χώρα μας είναι αρκετά περιορισμένος και υπάρχουν περιθώρια για περαιτέρω αξιοποίηση. Για το σχεδιασμό έργων αξιοποίησης υδατικών πόρων απαιτούνται παρατηρήσεις απορροής. Η καταγραφή των παροχών των υδατορευμάτων σε διάφορες θέσεις κατά μήκος των υδατορευμάτων είναι μια χρονοβόρα και υψηλού κόστους διαδικασία. Συνήθως γίνονται μετρήσεις σε μεγάλους ποταμούς και σε εύκολα προσβάσιμες θέσεις τους. Από την άλλη πλευρά, οι παρατηρήσεις βροχής είναι πιο αξιόπιστες και καλύπτουν περισσότερα έτη σε σχέση με τις παρατηρήσεις απορροής. Η ποιοτική και ποσοτική ανεπάρκεια παρατηρήσεων απορροής οδήγησε τους επιστήμονες στην ανάπτυξη και διερεύνηση μοντέλων υπολογισμού της απορροής από τα δεδομένα της βροχής. Ένα από τα ευρέως χρησιμοποιούμενα μοντέλα βροχής-απορροής είναι της Soil Conservation Service (SCS) που εισάγει τον απορροϊκο συντελεστή CN (Curve Number) για την εκτίμηση της απορροϊκής βροχής (SCS, 1972; Τσακίρης, 1995; Παπαμιχαήλ, 2004). Ένα άλλο απλό μοντέλο υπολογισμού της μηνιαίας απορροής από δεδομένα βροχόπτωσης και θερμοκρασίας είναι το μοντέλο των Thornthwaite & Mather (1957). Το μοντέλο αυτό έχει χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση της απορροής από πολλούς ερευνητές και μελετητές σε αρκετές υδρολογικές λεκάνες της Ελλάδος (Παπαμιχαήλ κ.άλ., 2000; Ασχονίτης κ.άλ., 2006;

Ψιλοβίκος και Ζαρκάδας, 2006; Καραμούζης κ.άλ., 2008; Karpouzos et al., 2011).

Στον καποδιστριακό Δήμο Αιανής του Ν. Κοζάνης γίνεται πολύ μικρή αξιοποίηση των υδατικών πόρων και οι αρδευόμενες εκτάσεις σε σχέση με τις καλλιεργούμενες είναι αρκετά περιορισμένες. Επομένως υπάρχουν περιθώρια για την αύξηση των αρδευομένων εκτάσεων μέσω έργων αξιοποίησης του υδατικού δυναμικού της περιοχής. Σκοπός της εργασίας είναι να μελετηθεί το ισοζύγιο νερού στις δύο πιο σημαντικές υδρολογικές λεκάνες του Καποδιστριακού Δήμου Αιανής Κοζάνης. Συγκεκριμένα: α) να εντοπιστούν οι υδρολογικές λεκάνες, β) να προσδιοριστούν τα χαρακτηριστικά τους, γ) να συγκεντρωθούν και επεξεργαστούν τα μετεωρολογικά στοιχεία, δ) να επιλεγεί ένα απλό μαθηματικό μοντέλο υπολογισμού της απορροής, ε) να υπολογιστούν οι απορροές στις υδρολογικές λεκάνες και οι αρδευτικές ανάγκες των καλλιεργειών της περιοχής, στ) να συζητηθούν τα αποτελέσματα και να προταθούν έργα αξιοποίησης των υδατικών πόρων της περιοχής με σκοπό την αύξηση των αρδευομένων εκτάσεων.

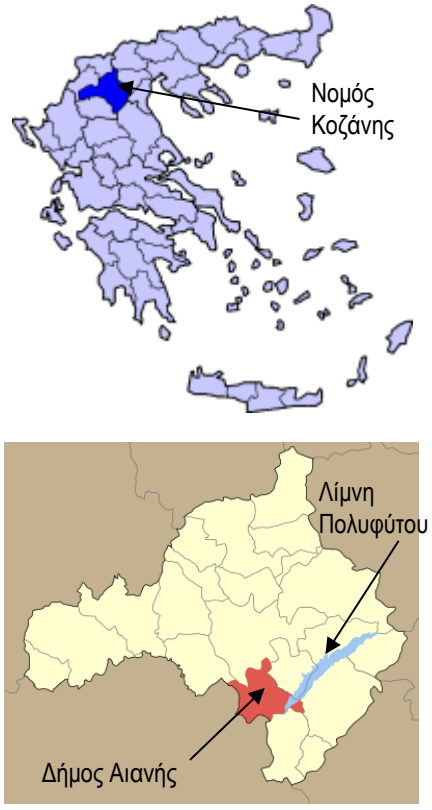
2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Η περιοχή μελέτης περιλαμβάνει τις υδρολογικές λεκάνες των κυριότερων ρεμάτων του Καποδιστριακού Δήμου Αιανής, που βρίσκεται στη Δυτική Μακεδονία στο νότιο τμήμα του Νομού Κοζάνης (Σχήμα 1) που συνορεύει δυτικά με το Νομό Γρεβενών. Η συνολική έκταση του Δήμου Αιανής ανέρχεται στα 152.9 km^2, το μεγαλύτερο μέρος των οποίων είναι μη παραγωγικές εκτάσεις και μόνο τα 33.64 km^2 καλλιεργούνται. Από αυτά τα 9.17 km^2 είναι αρδευόμενα (27%) αλλά στη πραγματικότητα αρδεύονται μόνο τα 4.59 km^2 (13.6%). Κυριότερες καλλιέργειες είναι το σιτάρι, ο καπνός, το κριθάρι, το καλαμπόκι και τα εξαιρετικής ποιότητας αμπέλια.

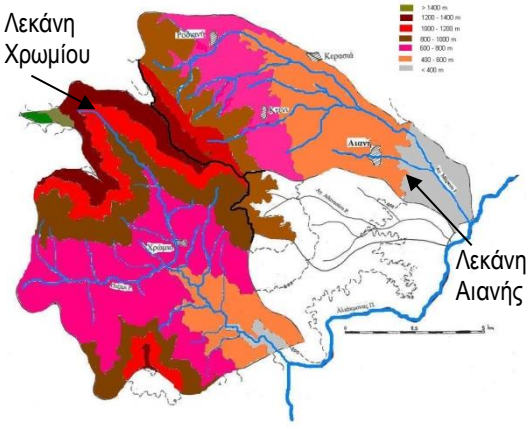
Η γεωλογία της περιοχής χαρακτηρίζεται από το οφιολιθικό σύμπλεγμα του Βούρινου που βρίσκεται Νότιο/Νοτιοδυτικά της Κοζάνης μέχρι την Ιερά μονή Ζάβουρδας στα Νότια. Η επιφάνεια αυτή καλύπτεται από υπερβασικά πετρώματα. Μόνο σε μικρό τμήμα εμφανίζεται η μαγματική σειρά με δουνίτες, γάββρους κ.άλ. (Μανάκος, 1997). Το Βόρειο και Βορειανατολικό τμήμα του Βούρινου δομείται από ανθρακικούς σχηματισμούς του Τριαδικοιουρασικού της Πελαγονικής. Πρόκειται για ασβεστόλιθους, τέφρους, κρυσταλικούς με καλή στρώση και παρεμβολές δολομιτών και δολομιτικών ασβεστόλιθων. Ο βαθμός ανακρυστάλωσης ποικίλει από θέση σε θέση. Στα ανώτερα μέλη παρεμβάλλεται μια σχιστοκερατολιθική διάπλαση μικρού πάχους.

Η περιοχή μελέτης τοποθετείται στην υδρολογική λεκάνη του ποταμού Αλιάκμονα στον οποίο έχουν κατασκευαστεί αρκετοί τεχνητοί ταμιευτήρες με μεγαλύτερο αυτόν της λίμνης του Πολυφύτου (Σχήμα 1).

Στο Δήμο Αιανής υπάρχουν τρεις υδρολογικές λεκάνες από τις οποίες οι δύο παρουσιάζουν ενδιαφέρον για τον υπολογισμό των όγκων απορροής και την αξιοποίησή τους: α. Η λεκάνη του ρέματος του Χρωμίου (Μπούρινος Ρέμα) και β. Η λεκάνη του ρέματος της Αιανής (ρέμα Αγίου Μάρκου-Καρδόλακος ρέμα), τα οποία εκβάλλουν στον ποταμό Αλιάκμονα. Στο Σχήμα 2 φαίνονται οι υδρολογικές λεκάνες της περιοχής μελέτης ενώ στον Πίνακα 1 δίνονται τα κύρια χαρακτηριστικά των δύο λεκανών.



Σχήμα 1. Χάρτης χωροθέτησης του Δήμου Αιανής στο νομό Κοζάνης και στην Ελλαδική επικράτεια.



Σχήμα 2. Υδρολογικές λεκάνες της περιοχής μελέτης με τις κύριες ισοϋψείς.

Στη λεκάνη του Χρωμίου, ως έξοδός της με τεχνικό και οικονομικό ενδιαφέρον αποτελεί η θέση «Μύλος του μπάρμπα Ζήση», στην οποία έχει κατασκευασθεί ένα μικρό φράγμα και ένα αντλιοστάσιο για τη συλλογή και άντληση νερού

προς ένα αρδευτικό δίκτυο. Για τη θέση αυτή η υδρολογική λεκάνη έχει έκταση 51.2 km^2. Στη λεκάνη της Αιανής η πιο κατάλληλη θέση για την εκτίμηση των όγκων απορροής είναι ανάντη της αγροτικής οδού που διασχίζει το υδατόρεμα του Αγίου Μάρκου στη θέση «Μεγάλη Ράχη». Για τη θέση αυτή η υδρολογική λεκάνη έχει έκταση 31.7 km^2.

Πίνακας 1. Κύρια χαρακτηριστικά των υδρολογικών λεκανών

Υδρολογική Λεκάνη	Έκταση, km^2	Μέσο Υψόμετρο, m	Ελάχιστο Υψόμετρο, m	Μέγιστο Υψόμετρο, m	Μέση κλίση, %
Ρέμα Αιανής	46.83	652.58	260	1295	15.19
Ρέμα Χρωμίου	71.50	850.27	310	1868	18.38

3. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

3.1. Μέση βροχόπτωση και μέση θερμοκρασία

Οι πλησιέστεροι μετεωρολογικοί σταθμοί της περιοχής μελέτης είναι ο μετεωρολογικός σταθμός Κοζάνης και οι βροχομετρικοί σταθμοί Αιανής, Σιάτιστας, Σερβίων, Εξάρχου και Δεσκάτης. Από αυτούς, μόνο ο σταθμός της Αιανής βρίσκεται εντός των υπό εξέταση λεκανών απορροής.

Ο βροχομετρικός σταθμός της Αιανής βρίσκεται σε υψόμετρο 460 m και τα διαθέσιμα δεδομένα για την εργασία αφορούσαν την περίοδο 1965-1988. Το μέσο ετήσιο ύψος βροχής για την περίοδο αυτή είναι 565.61 mm με μέγιστη τιμή τα 757.5 mm (1971-72) και ελάχιστη τα 320.4 mm (1984-85). Το μέσο μηνιαίο ύψος βροχής για όλα τα έτη και τους μήνες είναι 47.13 mm με μέγιστο μέσο μηνιαίο ύψος βροχής τα 64.73 mm (Νοέμβριος) και με μέσο ελάχιστο ύψος βροχής τα 29.25 mm (Ιούνιος). Το μέγιστο μηνιαίο ύψος βροχής για τη περίοδο αυτή καταγράφηκε το Δεκέμβριο του 1969 και ήταν ίσο με 177.4 mm, ενώ αντίθετα μηδενικά ύψη βροχής καταγράφηκαν τους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο.

Ο μετεωρολογικός σταθμός της Κοζάνης βρίσκεται σε υψόμετρο 710 m και είναι ο μόνος στον οποίο γινόταν καταγραφή της θερμοκρασίας. Τα διαθέσιμα δεδομένα αφορούσαν την περίοδο 1951-1990 και για την περίοδο αυτή η μέση ετήσια θερμοκρασία ήταν 12.85 ^{o}C με μέγιστη τιμή τους 14.11 ^{o}C (1960-61) και ελάχιστη 11.8 ^{o}C (1983-84). Η μέγιστη μέση μηνιαία θερμοκρασία ήταν 27.2 ^{o}C τον Αύγουστο του 1952, ενώ η ελάχιστη μέση μηνιαία θερμοκρασία ήταν -1.5 ^{o}C τον Ιανουάριο του 1954. Η μέγιστη μέση μηνιαία θερμοκρασία για όλα τα έτη και τους μήνες είναι 23.77 ^{o}C τον Ιούλιο και η ελαχίστη 2.31 ^{o}C τον Ιανουάριο.

Για τον υπολογισμό της μέσης βροχόπτωσης των υδρολογικών λεκανών στην περιοχή μελέτης χρησιμοποιήθηκε η διαδικασία της βροχοβαθμίδας (Παπαμιχαήλ, 2004). Με βάση το υψόμετρο και τη μέση ετήσια βροχόπτωση των σταθμών Κοζάνης, Αιανής, Σιάτιστας, Σερβίων, Εξάρχου και Δεσκάτης των κοινών υδρολογικών ετών παρατηρήσεων προέκυψε η ακόλουθη σχέση:

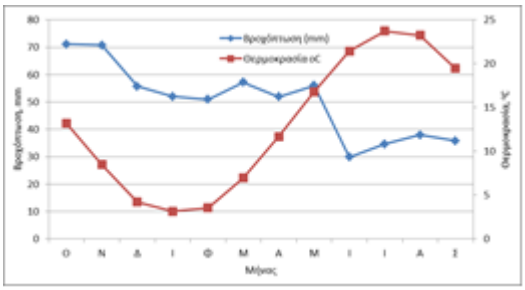
$$y = 0.247x + 435.5 \qquad (1)$$

όπου y= ετήσιο ύψος βροχής σε mm και x= υψόμετρο σταθμού σε m.

Από τη σχέση (1) προκύπτει ότι για κάθε αύξηση του υψομέτρου κατά 100 m , το ετήσιο ύψος βροχής αυξάνεται κατά 24.7 mm. Με βάση τα δεδομένα του σταθμού Αιανής της περιόδου 1969-70 μέχρι 1987-88 και της βροχοβαθμίδας της σχέσης (1) υπολογίστηκε η μέση μηνιαία βροχόπτωση των δύο λεκανών απορροής.

Η μέση μηνιαία θερμοκρασία των υδρολογικών λεκανών υπολογίστηκε με τη διαδικασία της θερμοβαθμίδας, χρησιμοποιώντας ως σταθμό βάσης το σταθμό της Κοζάνης και την μηνιαία κατακόρυφη θερμοβαθμίδα όπως δίνεται από τον Φλόκα (1986).

Στο Σχήμα 3 δίνεται το ομβροθερμικό διάγραμμα που περιγράφει τη μεταβολή της θερμοκρασίας και της βροχόπτωσης κατά τη διάρκεια του έτους στην λεκάνη της Αιανής. Στο ομβροθερμικό διάγραμμα παρατηρούνται κατά τη διάρκεια των καλοκαιρινών μηνών υψηλές μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες και χαμηλές μέσες μηνιαίες βροχοπτώσεις.



Σχήμα 3. Ομβροθερμικό διάγραμμα της λεκάνης απορροής της Αιανής (1969-70 μέχρι 1987-88).

3.2. Δυναμική εξατμισοδιαπνοή

Η εμπειρική σχέση του Thornthwaite χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της ολικής δυναμικής εξατμισοδιαπνοής σε μια περιοχή χωρίς ιδιαίτερη αναφορά σε συγκεκριμένες καλλιέργειες ή συστήματα εκμετάλλευσης και έχει τη μορφή (Παπαμιχαήλ, 2004):

$$ET_p = 16L_d\left[10T/I\right]^{6.75\cdot10^{-7}I^3 - 7.71\cdot10^{-5}I^2 + 0.01792I + 0.49239} \qquad (2)$$

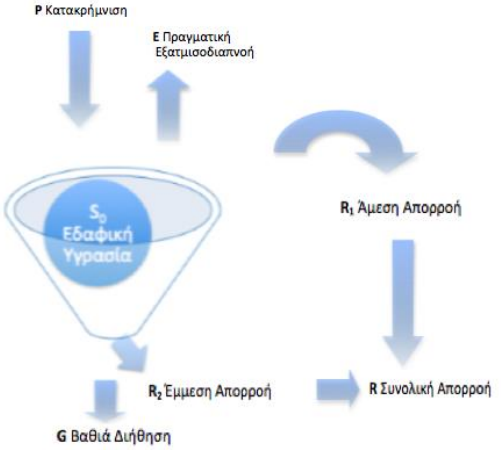
όπου: ET_p= η δυναμική εξατμισοδιαπνοή σε mm/μήνα, L_d= ο λόγος της μέσης διάρκειας ημέρας κάθε μήνα προς ημέρα διάρκειας 12 ωρών, T= μέση μηνιαία θερμοκρασία του αέρα (^{o}C), I= ένας ετήσιος δείκτης θερμότητας που υπολογίζεται με τη σχέση:

$$I = \sum_{j=1}^{12}\left[T_j / 5\right]^{1.514} \qquad (3)$$

όπου T_j= μέση μηνιαία θερμοκρασία του αέρα (^{o}C).

3.3. Υδρολογικό μοντέλο

Το απλό και διαδεδομένο μοντέλο των Thornthwaite & Mather (1957), όπως τροποποιήθηκε από τον Alley (Dingman, 1994) χρησιμοποιείται στην παρούσα εργασία για τον υπολογισμό του υδατικού ισοζυγίου των λεκανών απορροής. Βασίζεται στην εξομοίωση της υδρολογικής λειτουργίας της λεκάνης απορροής με τη λειτουργία μιας απλής δεξαμενής. Το χρονικό βήμα των υπολογισμών είναι μηνιαίο. Μία γενική περιγραφή της λειτουργίας του μοντέλου είναι η εξής: Υπολογίζονται οι όγκοι υδατικού πλεονάσματος F_p και υδατικού ελλείμματος D_p για την εύρεση της εδαφικής υγρασίας S για κάθε μήνα. Στη συνέχεια υπολογίζεται με βάση την εδαφική υγρασία και τη δυναμική εξατμισοδιαπνοή ET_p, η πραγματική εξατμισοδιαπνοή ET_c. Αφού αφαιρεθεί η ET_c, υπολογίζεται η βαθιά διήθηση G. Ο όγκος νερού που απομένει V, είναι υπεύθυνος για την άμεση απορροή, R_1. Όμως, σε περίπτωση που η υγρασιακή κατάσταση του εδάφους ξεπεράσει τη μέγιστη εδαφική υγρασία S_o, τότε προκύπτει έμμεση απορροή, R_2. Η ολική απορροή, R, προκύπτει από το άθροισμα της άμεσης και έμμεσης απορροής. Στο Σχήμα 4 φαίνεται η σχηματική περιγραφή του μοντέλου των Thornthwaite & Mather ενώ αναλυτική περιγραφή των σχέσεων υπολογισμού μπορεί κανείς να βρει στο σύγγραμμα του Παπαμιχαήλ (2004).



Σχήμα 4. Σχηματική περιγραφή του μοντέλου των Thornthwaite & Mather.

Το συγκεκριμένο μοντέλο έχει τρεις βασικές παραμέτρους: Τη μέγιστη εδαφική υγρασία S_o και τους συντελεστές βαθιάς διήθησης b και υστέρησης a. Η μέγιστη εδαφική υγρασία εκτιμάται με τη βοήθεια της σχέσης (Τσακίρης, 1995; Παπαμιχαήλ, 2004):

$$S_o = \frac{25400}{CN} - 254 \qquad (4)$$

όπου CN είναι ο απορροϊκός συντελεστής (Curve Number) ο οποίος εκτιμάται με τη βοήθεια Πινάκων (Τσακίρης, 1995; Παπαμιχαήλ, 2004), με βάση τα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά και τις χρήσεις γης της λεκάνης απορροής.

Η εκτίμηση του απορροϊκού συντελεστή εξαρτάται από τρείς κύριους παράγοντες, οι οποίοι είναι: α) ο τύπος του εδάφους, β) ο τρόπος διαχείρισής του και γ) η υγρασιακή κατάσταση του πριν την έναρξη της προσομοίωσης.

Ο συντελεστής βαθιάς διήθησης εκτιμάται με βάση τη γεωλογική δομή της υδρολογικής λεκάνης και τους επιμέρους συντελεστές βαθιάς διήθησης του κάθε γεωλογικού σχηματισμού. Τέλος, ο συντελεστής υστέρησης a, εκτιμάται με βάση τη γεωλογική δομή, τις χρήσεις γης και την κλίση της λεκάνης.

3.4. Ανάγκες σε νερό των καλλιεργειών

Οι ανάγκες σε αρδευτικό νερό αποτελούν τη βασική παράμετρο για τον προγραμματισμό και σχεδιασμό των αρδευτικών έργων και τη διαχείριση του αρδευτικού νερού (Αντωνόπουλος, 1999; Παπαζαφειρίου, 1999; Γεωργίου, 2004; Παπαμιχαήλ και Γεωργίου, 2007; Georgiou and Papamichail, 2008).

Οι καθαρές σε νερό άρδευσης ανάγκες κάθε καλλιέργειας, θεωρώντας ότι η συμβολή του υπόγειου νερού και της εδαφικής υγρασίας είναι μηδενικές, υπολογίζονται από τη σχέση:

$$IR_n = ET_c - P_e \qquad (5)$$

όπου ET_c= εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας, P_e= ωφέλιμη βροχή.

Οι ολικές σε νερό άρδευσης ανάγκες υπολογίζονται από τη σχέση:

$$IR_t = IR_n / E \qquad (6)$$

όπου E= αποδοτικότητα άρδευσης.

4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Για την εφαρμογή του μοντέλου των Thornthwaite & Mather απαιτούνται δεδομένα βροχόπτωσης και εξατμισοδιαπνοής ενώ απαιτείται και ο υπολογισμός των τριών παραμέτρων S_o, b και a. Η μέση βροχόπτωση για τις δύο λεκάνες υπολογίστηκε με τη διαδικασία της βροχοβαθμίδας, όπως περιγράφηκε στην Παράγραφο 3.1, ενώ η δυναμική εξατμισο-διαπνοή με τη μέθοδο του Thornthwaite (Παράγραφος 3.2) με τη βοήθεια της μέσης θερμοκρασίας των λεκανών.

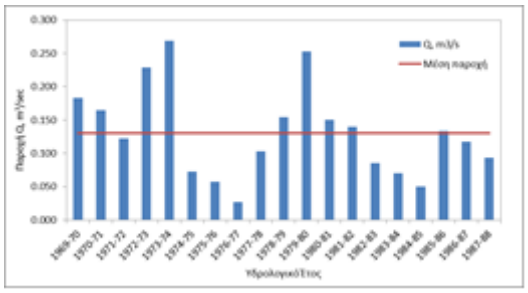
Με βάση τα στοιχεία κατανομής της χρήσης γης που είναι αντίστοιχα για τη λεκάνη του Χρωμίου και τη λεκάνη της Αιανής 42.9% και 37.9 % καλλιέργειες σιτηρών, 29.3% και 18.9 % βοσκότοποι και 17.9% και 22.7% δάση και θαμνώδεις εκτάσεις, βρέθηκε ότι η τιμή του σταθμισμένου απορροϊκού συντελεστή CN είναι 68.78 για τη λεκάνη του Χρωμίου και 70.19 για τη λεκάνη της Αιανής. Επομένως με βάση τη σχέση (4) οι μέγιστες εδαφικές υγρασίες S_o για τις αντίστοιχες υπολεκάνες είναι 115 mm και 108 mm. Από το γεωλογικό χάρτη του ΙΓΜΕ (Μανάκος, 1997) και τους συντελεστές βαθιάς διήθησης των σχηματισμών βρέθηκε ότι ο μέσος συντελεστής βαθιάς διήθησης της λεκάνης της Αιανής είναι 24.62 ενώ για τη λεκάνη του Χρωμίου 19.12. Τέλος, ο συντελεστής υστέρησης πάρθηκε ίσος με 30%.

Με βάση τα παραπάνω δεδομένα υπολογί-στηκαν οι μηνιαίες απορροές για τα υδρολογικά έτη 1969-70 μέχρι 1987-88 για τις δύο λεκάνες της Αιανής και του Χρωμίου,

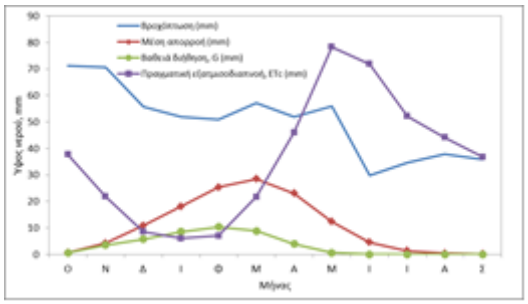
Στα Σχήματα 5 και 6 δίνονται αντίστοιχα η μέση ετήσια παροχή και η μέση διακύμανση κατά τη

διάρκεια του έτους των συνιστωσών του ισοζυγίου νερού της λεκάνης της Αιανής στη θέση Μεγάλη Ράχη για τα υδρολογικά έτη 1969-70 μέχρι 1987- 88.

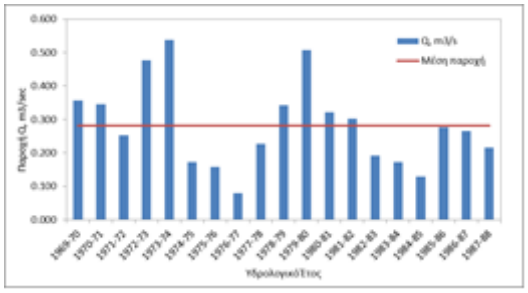
Στα Σχήματα 7 και 8 δίνονται αντίστοιχα η μέση ετήσια παροχή και η μέση διακύμανση κατά τη διάρκεια του έτους των συνιστωσών του ισοζυγίου νερού της λεκάνης του Χρωμίου στη θέση Μύλος του μπάρμπα Ζήση για τα υδρολογικά έτη 1969-70 μέχρι 1987- 88.



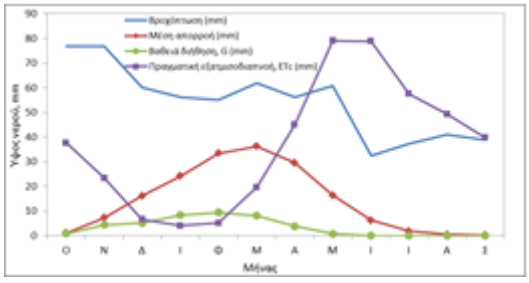
Σχήμα 5. Ετήσια παροχή νερού της λεκάνης της Αιανής (1969-70 μέχρι 1987-88) στη θέση Μεγάλη Ράχη.



Σχήμα 6. Μέση ετήσια διακύμανση των συνιστωσών του ισοζυγίου του νερού της λεκάνης Αιανής (1969-70 μέχρι 1987-88) στη θέση Μεγάλη Ράχη.



Σχήμα 7. Ετήσια παροχή νερού της λεκάνης του Χρωμίου (1969-70 μέχρι 1987-88) στη θέση Μύλος του μπάρμπα Ζήση.



Σχήμα 8. Μέση ετήσια διακύμανση των συνιστωσών του ισοζυγίου του νερού της λεκάνης του Χρωμίου (1969-70 μέχρι 1987-88) στη θέση Μύλος του μπάρμπα Ζήση.

Ο μέσος ετήσιος συντελεστής απορροής για τη λεκάνη της Αιανής είναι 0.214 ενώ για τη λεκάνη του Χρωμίου 0.265.

Σύμφωνα με την ετήσια γεωργική στατιστική έρευνα του έτους 2010 προκύπτει ότι από το σύνολο των αροτριαίων καλλιεργειών (17.931 στρ.) του δημοτικού διαμερίσματος Αιανής μόνο τα 512 στρ (3%) αρδεύονται, ενώ στο δημοτικό διαμέρισμα του Χρωμίου από τα 3.628 στρ αρδεύονται μόνο τα 79 στρ. (2%). Επιπλέον στην Αιανή υπάρχουν άλλα 50 στρ. δενδρωδών καλλιεργειών που αρδεύονται.

Τα στοιχεία αυτά δείχνουν ότι θα μπορούσαν να αυξηθούν οι αρδευόμενες εκτάσεις, με την αξιοποίηση των υπαρχόντων και τη κατασκευή νέων αρδευτικών έργων, όπως επίσης και με την ορθολογική διαχείριση των υδατικών πόρων της περιοχής. Στα πλαίσια της εργασίας αυτής υπολογίζονται οι μέσες ανάγκες σε αρδευτικό νερό, μιας μεγαλύτερης έκτασης και διαφορετικής κατανομής καλλιεργειών μέσα σε αυτήν. Συγκεκριμένα υπολογίζονται οι ανάγκες για άρδευση 2.000 στρεμμάτων στην Αιανή και 1.000 στρεμμάτων στο Χρώμιο με την κατανομή των καλλιεργειών που δίνεται στον Πίνακα 2.

Πίνακας 2. Κατανομή καλλιεργειών και έκταση του προτεινόμενου σχεδίου άρδευσης στην περιοχή μελέτης

Κατηγορίες καλλιεργειών	**Εκτάσεις σε στρέμματα**	
	Λεκάνη Αιανής	**Λεκάνη Χρωμίου**
Αραβόσιτος	600	300
Μηδική	800	500
Κηπευτικά	300	100
Δενδρώδεις καλλιέργειες	200	100
Αμπέλια	100	0
Σύνολο	**2000**	**1000**

Έχοντας υπολογίσει τις απορροές στις δύο περιοχές μελέτης εξετάστηκε αν αυτές καλύπτουν τις ανάγκες σε αρδευτικό νερό των καλλιεργειών του Πίνακα 2.

Στον Πίνακα 3 δίνονται συγκριτικά οι μέσες μηνιαίες και ετήσιες απορροές (Q) και οι ολικές ανάγκες σε αρδευτικό νερό (IR_t) στις δύο λεκάνες, καθώς επίσης και το έλλειμμα ή η περίσσεια νερού που μπορεί να υπάρχει μετά την κάλυψη αυτών των αναγκών. Διαπιστώνεται ότι στην υδρολογική λεκάνη της Αιανής οι απορροές δεν καλύπτουν τις ανάγκες σε αρδευτικό νερό από το μήνα Ιούνιο μέχρι και το Σεπτέμβριο, ενώ στην υδρολογική λεκάνη Χρωμίου οι απορροές δεν καλύπτουν τις ανάγκες σε αρδευτικό νερό από το μήνα Ιούλιο μέχρι και το Σεπτέμβριο. Εξετάζοντας όμως τις απορροές και ανάγκες σε ετήσια βάση παρατηρούμε ότι δεν υπάρχει έλλειμμα και το περίσσευμα νερού απορροής είναι πολύ σημαντικό και στις δύο λεκάνες. Άρα για να ικανοποιηθούν οι ανάγκες σε

αρδευτικό νερό των αντίστοιχων εκτάσεων θα πρέπει να γίνουν έργα αποταμίευσης νερού (ταμιευτήρες – λιμνοδεξαμενές), στις οποίες θα αποθηκεύεται νερό κατά τη διάρκεια του χειμώνα και θα χρησιμοποιείται κατά τους καλοκαιρινούς μήνες.

Πίνακας 3. Μέσες μηνιαίες και ετήσιες απορροές και ολικές σε νερό άρδευσης ανάγκες στις λεκάνες Αιανής και Χρωμίου

Λεκάνη Αιανής						
	Μάιος	**Ιούνιος**	**Ιούλιος**	**Αύγουστος**	**Σεπτέμβριος**	**Ετήσιο**
IR_t (m^3)	71.702	202.050	270.352	226.824	109.663	880.592
Q (m^3)	392.105	142.510	42.753	12.825	3.847	4.106.615
Έλλειμμα ή περίσσεια	320.403	-59.540	-227.599	-213.999	-105.816	3.226.023
Λεκάνη Χρωμίου						
IR_t (m^3)	41.525	106.532	137.830	113.792	58.327	458.008
Q (m^3)	836.208	317.291	95.187	28.556	8.567	8.850.575
Έλλειμμα ή περίσσεια	794.683	210.759	-42.643	-85.236	-49.760	8.392.566

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην εργασία αυτή έγινε μία προσπάθεια για να μελετηθεί το υδατικό ισοζύγιο του καποδιστριακού δήμου Αιανής Κοζάνης. Για το σκοπό αυτό προσδιορίστηκαν οι δύο σημαντικότερες υδρολογικές λεκάνες και προσδιορίστηκαν τα χαρακτηριστικά τους. Στη συνέχεια έγινε επεξεργασία των μετεωρολογικών στοιχείων και υπολογίστηκε το υδατικό δυναμικό της περιοχής με τη χρήση του μοντέλου Thornthwaite and Mather λόγω παντελούς έλλειψης μετρήσεων απορροής. Τέλος υπολογίστηκαν οι αρδευτικές ανάγκες για ένα σχέδιο καλλιεργειών και συγκρίθηκαν οι ανάγκες αυτές με τις υπολογισμένες απορροές. Από τη σύγκριση προέκυψε ότι ενώ οι απορροές κατά την αρδευτική περίοδο δεν μπορούν να καλύψουν τις αρδευτικές ανάγκες, εντούτοις οι χειμερινές απορροές είναι υπεραρκετές για την κάλυψη αυτών των αναγκών. Επομένως, προτείνεται η αξιοποίηση των χειμερινών απορροών με την κατασκευή έργων ταμίευσης (φράγμα, λιμνοδεξαμενές) όπου ο σκοπός τους θα είναι πέραν της ικανοποίησης των αρδευτικών αναγκών και ο εμπλουτισμός του υπόγειου υδροφορέα. Οι θέσεις στις οποίες μπορούν να κατασκευαστούν έργα αξιοποίησης των υδατικών πόρων είναι για τη λεκάνη του Χρωμίου, η θέση Μύλος του μπάρμπα Ζήση, και για τη λεκάνη της Αιανής η θέση Μεγάλη Ράχη.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Αντωνόπουλος, Β., 1999. Υδρολογία της ακόρεστης ζώνης του εδάφους. Υπηρεσία Δημοσιευμάτων του Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη, 275 σελ.

Ασχονίτης Β. Γ., Μπαλτάς Ε. Α., Αντωνόπουλος Β. Ζ., 2006. Υδρολογική διερεύνηση της λεκάνης του Εορδαίου ποταμού. Πρακτικά 10ου Πανελλήνιου συνεδρίου ΕΥΕ, Ξάνθη, 23-30.

Γεωργίου, Π.Ε., 2004. Βελτιστοποίηση λειτουργίας ταμιευτήρων για αρδευτικούς σκοπούς. Διδακτορική διατριβή, Γεωπονική Σχολή ΑΠΘ.

Georgiou, P.E., Papamichail, D.M., 2008. Optimization model of an irrigation reservoir for water allocation and crop planning under various weather conditions. Irrigation Science, 26: 487-504.

Dingman, S. L., 1994. Physical hydrology. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.

Καραμούζης, Δ., Παπαμιχαήλ, Δ., Γεωργίου, Π., 2008. Υδρολογική μελέτη φράγματος Ολυνθίου (Θέση Ψαλίδα). Επ. Πρόγραμμα: Συμπληρωματική Έρευνα Έργων Αξιοποίησης Υδατικών Πόρων Χαλκιδικής – Φράγμα Ολυνθίου, Θεσσαλονίκη.

Karpouzos, D., Baltas, E., Kavalieratou, S., Babajimopoulos, C., 2011. A hydrological investigation using a lumpedwater balance model: the Aison River Basin case (Greece). Water and Environment Journal, 25: 297–307.

Μανάκος, Α., 1997. Συμβολή στη γνώση της υδρογεωλογικής συμπεριφοράς των οφιολίθων του όρους Βουρινου, Ν. Κοζάνης, Πρακτικά 4ου Υδρογεωλογικου Συνεδρίου, Θεσσαλονίκη, 213-227.

Παπαζαφειρίου, Ζ.Γ., 1999. Οι ανάγκες σε νερό των καλλιεργειών. Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη, 347 σελ.

Παπαμιχαήλ, Δ.Μ., 2004. Τεχνική υδρολογία επιφανειακών υδάτων. Εκδόσεις Γιαχούδη, Θεσσαλονίκη, 394 σελ.

Παπαμιχαήλ, Δ.Μ., Γεωργίου, Π.Ε., 2007. Βέλτιστη χρήση νερού στη γεωργία. Πρακτικά Συνεδρίου «Προστασία, Αποκατάσταση & Βιώσιμη Ανάπτυξη του Φυσικού & Πολιτιστικού Περιβάλλοντος στην Ευρώπη», Δράση Jeann Monnet, Βέροια, 389-412.

Παπαμιχαήλ, Δ.Μ., Γεωργίου, Π.Ε., Καραμούζης, Δ.Ν., 2000. Εκτίμηση μηνιαίων εισροών του ταμιευτήρα του χειμάρρου Πετρένια Χαλκιδικής και σχεδιασμός λειτουργίας του. Πρακτικά 8ου Πανελλήνιου Συνεδρίου ΕΥΕ, Αθήνα, 277-284.

SCS (Soil Conservation Service), 1972. National Engineering Handbook, Section 4, U.S. Department of Agriculture, Washington, D.C.

Thornthwaite C.W., Mather J.R., 1957. Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance. Publication in Climatology, 10(3), Centerton, N.J. Drexel Inst.

Τσακίρης, Γ., 1995. Τεχνική υδρολογία. Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα.

Φλόκας Α.Α., 1986. Μαθήματα μετεωρολογίας κλιματολογίας. Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη.

Ψιλοβίκος, Α., Ζαρκάδας, Π., 2006. Μοντέλο προσομοίωσης υδατικού ισοζυγίου της λεκάνης απορροής της λίμνης Καστοριάς. Πρακτικά 10ου Πανελλήνιου συνεδρίου ΕΥΕ, Ξάνθη, 62-72.

ΣΧΕΣΗ ΑΡΔΕΥΣΗΣ - ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΠΟΙΟΤΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΤΟΜΑΤΑΣ ΣΤΗΝ ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΕΛΛΑΔΑ

Δημήτριος Καλφούντζος, Παναγιώτης Βύρλας, Χρυσούλα Παπαϊωάννου, Αντώνιος Σιούρας, Αγαθός Φιλίντας, Πασχάλης Ντιούδης
Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα (Τ.Ε.Ι.) Λάρισας, Σχολή Τεχνολόγων Γεωπονίας, Τμήμα Μηχανικής Βιοσυστημάτων, ΤΚ 411 10, Λάρισα, e-mail: dkalf@teilar.gr

Λόγω των σεναρίων μείωσης του διαθέσιμου νερού για την άρδευση των καλλιεργειών στη λεκάνη της Μεσογείου και ειδικότερα στη Θεσσαλία η οποία υποφέρει ιδιαίτερα από την μείωση των βροχοπτώσεων τα τελευταία χρόνια, η ορθή χρήση του νερού άρδευσης αποτελεί το κλειδί για την διαχείριση του αρδευτικού νερού. Η παρούσα εργασία διερευνά τις σχέσεις αρδευτικού νερού, παραγωγής και βασικών ποιοτικών χαρακτηριστικών υπαίθριας βιομηχανικής τομάτας στην κεντρική Ελλάδα. Από τα πειραματικά δεδομένα προκύπτει θετική συσχέτιση του αρδευτικού νερού με ορισμένα από τα ποσοτικά και ποιοτικά χαρακτηριστικά τα οποία εξετάστηκαν. Τα αποτελέσματα μπορούν να αξιοποιηθούν στη βέλτιστη χρήση του αρδευτικού νερού.

Λέξεις κλειδιά: βιομηχανική τομάτα, ποιοτικά χαρακτηριστικά καρπών, διαλυτά στερεά συστατικά

RELATIONSHIP BETWEEN IRRIGATION, PRODUCTION AND QUALITY CHARACTERISTICS OF INDUSTRIAL TOMATO FRUIT IN CENTRAL GREECE

Dimitrios Kalfountzos, Panagiotis Vyrlas, Chrysoula Papaioannou, Antonios Siouras, Agathos Filintas, Paschalis Dioudis
Technological Educational Institute of Larissa, School of Agricultural Technology, Department of Biosystems Engineering, Zip. 411 10, Larissa, e-mail: dkalf@teilar.gr

Because of the scenarios for reduction of water available for irrigation in the Mediterranean region and especially in Thessaly which suffers particularly from reduced rainfall in recent years, the proper use of irrigation water is the key for the sustainable management of water. The present study examines the relationships between irrigation water, production and essential qualities outdoor industrial tomato in central Greece. The experimental data show a positive correlation of irrigation water to some of the quantity and quality characteristics examined. The results can be utilized to the optimum use of irrigation water.

Keywords: industrial tomato, fruit quality characteristics, total soluble solids

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η εξάρτηση της γεωργικής παραγωγής από τη συχνότητα και την ποσότητα του νερού άρδευσης έχει διερευνηθεί από πάρα πολλούς ερευνητές (Doorenbos and Kassam, 1979). Κατά καιρούς έχουν διατυπωθεί σχετικές εξισώσεις οι οποίες άλλοτε είναι γενικές και άλλοτε αναφέρονται σε ορισμένες περιοχές και καλλιέργειες (Αλεξίου κ. α., 2000). Ο τομέας παραγωγής τομάτας για μεταποίηση είχε σημαντική θέση μεταξύ των κλάδων της αγροτικής οικονομίας της χώρας, για μια μεγάλη σειρά ετών έως και το έτος 2004 , χρονιά που αποτέλεσε αφετηρία συνεχούς πτωτικής πορείας. Έτσι ενώ το 2004 καλλιεργήθηκαν 183.000 στρέμματα με παραγωγή 1.187.000 τόνους πρώτης ύλης και 237.000 τόνους τελικών προϊόντων, το 2011 κατέληξε να καλλιεργηθεί έκταση μόλις 40.000 στρεμμάτων με παραγωγή 330.000 τόνους πρώτη ύλη και 84.000 τόνους σε τελικά προϊόντα.

Οι παράγοντες που οδήγησαν σε μείωση της καλλιέργειας βιομηχανικής τομάτας, ειδικά το έτος 2011 οφείλονται α) στην αναθεώρηση της Κ.Α.Π. και της ΚΟΑ οπωροκηπευτικών το 2007 και β) στην εθνική επιλογή διατήρησης της συνδεδεμένης ενίσχυσης, ενισχυμένης σε ποσοστό 30% έως και το τέλος του 2010, δημιούργησε συγκριτικό μειονέκτημα με αποτέλεσμα την εγκατάλειψη της καλλιέργειας από τους παραδοσιακούς της καλλιεργητές. Το γεγονός ότι η βιομηχανική τομάτα λειτουργεί υπό το καθεστώς της συμβολαιακής γεωργίας, σε αντίθεση με άλλα ανταγωνιστικά προϊόντα όπως το βαμβάκι και το καλαμπόκι και η πλήρης αποδέσμευση της ενίσχυσης και η ενσωμάτωσή της στο καθεστώς της Ενιαίας Ενίσχυσης θα τονώσει το ενδιαφέρον των παραγωγών για την αύξηση των καλλιεργούμενων εκτάσεων.

Από τις ποιο εντατικές καλλιέργειες όσον αφορά την άρδευση και τη χρήση χημικών, είναι και η παραγωγή βιομηχανικής τομάτας (Rinaldi et al., 2003). Η συγκεκριμένη συγκαταλέγεται στις πλέον απαιτητικές καλλιέργειες σε νερό, διότι απαιτούνται περίπου 600 mm ανά έτος.

Κατά συνέπεια η βελτιστοποίηση των συνθηκών άρδευσης της καλλιέργειας βιομηχανικής τομάτας δεν θα πάψει να απασχολεί τους ερευνητές εφόσον η παγκόσμια παραγωγή της βαίνει αυξανόμενη. Συγκεκριμένα το 2009 αυξήθηκε κατά 7% σε σχέση με το 2008 και κατά 15% σε σχέση με το 2007. Το ίδιο συμβαίνει και στην παραγωγή των χωρών μελών της Ε.Ε. όπου τα τελευταία χρόνια παρουσιάζει συνεχή αύξηση. Κυρίαρχη θέση στην παραγωγή κατέχει η Ιταλία με 5,0 10^6 Mg (2009) και ακολουθεί η Ισπανία με 2,3 10^6 Mg, η Πορτογαλία με 1,1 10^6 Mg και η Ελλάδα με 0,8 10^6 Mg.

Επομένως είναι σκόπιμο η Ελλάδα βελτιστοποιώντας τις συνθήκες παραγωγής της εν λόγω καλλιέργειας, να γίνει ποιο ανταγωνιστική σε ένα προϊόν του οποίου η ζήτηση αυξάνεται παγκόσμια.

Όσον αφορά στην ποιότητα της βιομηχανικής τομάτας, μεταξύ των κυριότερων επιθυμητών χαρακτηριστικών που χαρακτηρίζουν την παραγωγή της, είναι η υψηλή περιεκτικότητα σε διαλυτά στερεά συστατικά, η χαμηλή οξύτητα, η αντοχή στη μεταφορά, η υψηλή παραγωγικότητα και το υψηλό ποσοστό καρπών 1ης κατηγορίας (Goose and Binsted, 1964).

Οι παράγοντες που επηρεάζουν την ποιότητα της βιομηχανικής τομάτας είναι ενδογενείς (ποικιλία κ.λπ.) και εξωγενείς (περιβάλλον και διαχείριση). Στο περιβάλλον, ανήκουν εδαφικές και κλιματολογικές συνθήκες. Στη διαχείριση, είναι ο τρόπος καλλιέργειας, η εποχή συγκομιδής, η δόση και η συχνότητα άρδευσης κ. α. δηλαδή τεχνικές οι οποίες χωρίς να επιβαρύνουν ιδιαίτερα τις εισροές της καλλιέργειας, συντελούν σε υψηλές αποδόσεις.

Η συγκομιδή (χειρωνακτική ή εκμηχανισμένη) της βιομηχανικής τομάτας στην Ελλάδα, γίνεται το 3ο δεκαήμερο του Ιουλίου (πρώιμες ποικιλίες), τον Αύγουστο-Σεπτέμβριο (μεσο-πρώιμες ποικιλίες) και τον Οκτώβριο (όψιμες ποικιλίες), με μικρές αποκλίσεις ανάλογα με τις εκάστοτε εδαφοκλιματικές συνθήκες.

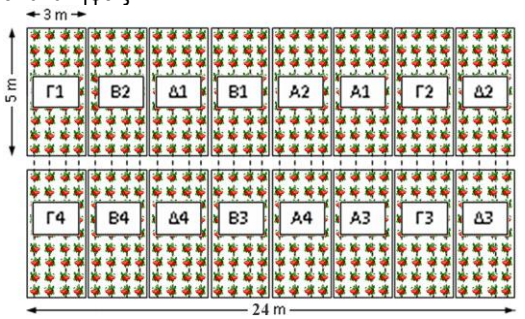
Στη διεθνή βιβλιογραφία (De Jager. and Kenedy, 1995) εφαρμόζονται τρείς μέθοδοι (επίπεδα) προγραμματισμού της άρδευσης με σκοπό την μεταφορά της τεχνολογίας στους χρήστες παραγωγούς. Το **Υψηλό** που βασίζεται στο υπολογιστικό μοντέλο των κλιματικών δεδομένων, το **Ενδιάμεσο** το οποίο αναπληρώνει αθροιστικά την ημερήσια εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας και το **Ελάχιστο** (συμβατικό) το οποίο εφαρμόζει σταθερή ποσότητα νερού σε σταθερά χρονικά διαστήματα.

Η παρούσα εργασία διερευνά την επίδραση της ποσότητας του αρδευτικού νερού στην παραγωγή και ποιότητα της βιομηχανικής τομάτας στη Κεντρική Ελλάδα εφαρμόζοντας το Ενδιάμεσο επίπεδο άρδευσης.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1 Περιγραφή της εγκατάστασης

Το αρδευτικό δίκτυο αποτελούνταν από τον κύριο αγωγό μεταφοράς από PE Φ32/6 Atm και από δευτερεύοντες αγωγούς PE Φ20/6 Atm. Οι σταλακτηφόροι σωλήνες της επιφανειακής στάγδην άρδευσης είχαν ισαποχή 1,5 m, μήκος 5 m και ήταν τύπου PC/Φ16 με ενσωματωμένους σταλάκτες. Οι σταλάκτες ήταν αυτορυθμιζόμενοι και αυτοκαθαριζόμενοι ισαποχής 0,70 m, παροχής 2,2 l h^{-1} σε πίεση λειτουργίας από 0,5 έως 3,5 Atm, με διπλό μηχανισμό αυτοκαθαρισμού και δύο κανάλια εξόδου ώστε να αποφεύγεται η έμφραξη. Μεταξύ της κύριας γραμμής και των γραμμών άρδευσης παρεμβαλλόταν μία ηλεκτροβάνα για τον έλεγχο της ροής στο σύστημα και ένας υδρομετρητής. Μετά το φίλτρο σήτας παρεμβάλλονταν ένας συλλέκτης. Ο συλλέκτης περιελάμβανε 4 ηλεκτροβάνες και 4 υδρομετρητές. Σε κάθε γραμμή του συστήματος υπήρχε ρυθμιστής πίεσης κι έτσι το σύστημα λειτουργούσε με σταθερή πίεση 18 m. Κάθε ηλεκτροβάνα με τον υδρομετρητή της συνδέθηκε με δύο γραμμές άρδευσης που τροφοδοτούσαν δύο πειραματικά τεμάχια. Κάθε πειραματικό τεμάχιο επιφανειακής στάγδην άρδευσης είχε 2 σταλακτηφόρους σωλήνες (Σχήμα 1). Από τις ενδείξεις των υδρομετρητών και την έκταση του κάθε πειραματικού τεμαχίου υπολογίζονταν το ύψος του εφαρμοζόμενου νερού. Επίσης, πάντα καταγράφονταν και η διάρκεια της άρδευσης για κάθε μεταχείριση. Έγινε εφαρμογή τεσσάρων μεταχειρίσεων άρδευσης με το 120% (Α), 100% (Β), 80% (Γ) και 60% (Δ) της εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας. Τα πειραματικά τεμάχια που φαίνονται στο Σχήμα 1, χαρακτηρίζονται από ένα γράμμα και έναν αριθμό. Το πρώτο γράμμα χαρακτηρίζει το επίπεδο άρδευσης και ο αριθμός τον αριθμό της επανάληψης. Οι διαστάσεις κάθε πειραματικού τεμαχίου ήταν 5Χ3=15 m^2. Το πειραματικό σχέδιο περιλάμβανε τυχαιοποιημένες ομάδες με τέσσερις επαναλήψεις.



Σχήμα 1. Σχηματική διάταξη πειραματικών τεμαχίων καλλιέργειας βιομηχανικής τομάτας αγροκτήματος Λάρισας.

2.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

Για την υλοποίηση του ερευνητικού προγράμματος εγκαταστάθηκε πειραματικός αγρός βιομηχανικής τομάτας στη Λάρισα (αγρόκτημα ΤΕΙ) που αρδεύεται με στάγδην άρδευση και εφαρμόζονται διάφορα επίπεδα άρδευσης στα πειραματικά τεμάχια. Από τις αναλύσεις των δειγμάτων εδάφους προέκυψε ότι είναι αμμοαργιλοπηλώδες (Παπαϊωάννου κ.α. 2011., Καλφούντζος κ.α. 2012).

Για την εφαρμογή των αρδεύσεων λαμβάνονται υπόψη υδρολογικά χαρακτηριστικά του εδάφους (FC, PWP, διηθητικότητα). Η εφαρμογή των αρδεύσεων ακολουθεί το ενδιάμεσο μοντέλο προγραμματισμού της άρδευσης, το οποίο αναπληρώνει αθροιστικά την εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας με βάση το πρόγραμμα του FAO-56 και διενεργείται όταν έχει εξαντληθεί από το βάθος του ριζοστρώματος ποσότητα νερού περίπου ίση με την ωφέλιμη υγρασία ανάλογα με το επίπεδο εφαρμογής νερού σε κάθε πειραματικό τεμάχιο.

Τα φυτά βιομηχανικής τομάτας (υβρίδιο *Heinz S3402*) μεταφυτεύτηκαν στο στάδιο των 6-7 πραγματικών φύλλων στο έδαφος, στις 1-2 Μαΐου 2012. Κάθε πειραματικό τεμάχιο περιλαμβάνει

τέσσερις σειρές βιομηχανικής τομάτας σε αποστάσεις 0,45 m μεταξύ των δίδυμων γραμμών και 1,05 m μεταξύ τους. Η θρέψη περιελάμβανε την βασική εφαρμογή 41 Kg/στρ 12-12-17(2 Mg+8S) επί της γραμμής στις 8-6-2012 και σε τέσσερις δόσεις 60 Kg/στρ (34.5-0-0), δύο δόσεις 15 Kg/στρ (13.5-0-46,2) με υδρολίπανση σε όλες τις μεταχειρίσεις. Έγιναν δύο εφαρμογές του οικολογικού μυκητοκτόνου Vacciplant, σε δοσολογία 50 mL/100 L νερού και του οικολογικού εντομοκτόνου Belthirul (3200 wp) σε δοσολογία 50 g/100 L νερού, στο πλαίσιο της φυτοπροστασίας.

Η συγκομιδή πραγματοποιήθηκε στο κόκκινο στάδιο ωρίμανσης σύμφωνα με την κατάταξη του USDA (1997), την 24η Αυγούστου χειρωνακτικά. Από κάθε επανάληψη του πειράματος συλλέχθηκε και ζυγίστηκε χωριστά για κάθε γραμμή η παραγωγή 10 φυτών. Για κάθε πειραματικό τεμάχιο και κάθε επανάληψη εξετάστηκαν τα ποιοτικά χαρακτηριστικά της βιομηχανικής τομάτας στο Εργαστήριο Ποιότητας γεωργικών προϊόντων του Τμήματος Μηχανικής Βιοσυστημάτων του ΤΕΙ Λάρισας.

Για την εύρεση της εμπορεύσιμης και μη (πράσινη-σάπια) παραγωγής ανά πειραματικό τεμάχιο και μεταχείριση συγκομίστηκε μόνο η παραγωγή των 10 μεσαίων φυτών των δύο μεσαίων γραμμών φύτευσης, ενώ για την ανάλυση των δεδομένων που αφορούν στη σύσταση των καρπών (οργανοληπτικά χαρακτηριστικά) χρησιμοποιήθηκε το πλήρως τυχαιοποιημένο σχέδιο, με τέσσερις επαναλήψεις ανά μεταχείριση και πέντε όμοιους καρπούς ανά επανάληψη. Η σύγκριση των μέσων όρων έγινε με τεστ πολλαπλών ευρών Duncan, σε επίπεδο σημαντικότητας 0.05 (στατιστικό πακέτο SPSS 10).

2.3 Υδατοκατανάλωση

Η εφαρμοζόμενη ποσότητα νερού σε κάθε άρδευση υπολογίζονταν από κλιματικά δεδομένα του αυτόματου τηλεμετρικού μετεωρολογικού σταθμού που υπήρχε στη θέση του πειράματος με τη μέθοδο Penman-Mothieth FAO 56. Για τον προσδιορισμό της εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας αναφοράς χρησιμοποιείται η τροποποιημένη μέθοδος Penman-Monteith όπως αυτή περιγράφεται από τον FAO-56 (Allen et al., 1998).

Για τον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας χρησιμοποιήθηκε ο φυτικός συντελεστής Kc , ο φυτικός συντελεστής ο οποίος για το στάδιο (1) διάρκειας 33 ημερών είχε την τιμή 0,6, στο στάδιο (2) διάρκειας 40 ημερών αυξάνονταν γραμμικά από 0,6 έως 1,15, στο στάδιο (3) διάρκειας 45 ημερών ήταν 1,15 και τέλος στο στάδιο (4) διάρκειας 27 ημερών μειώνονταν γραμμικά από 1,15 έως 0,7. Οι μετρήσεις αναφέρονται στην περίοδο Μαΐου - Αυγούστου 2012.

Μετά τη μεταφύτευση της βιομηχανικής τομάτας έγινε άρδευση για το φύτρωμα της καλλιέργειας, με απλούς εκτοξευτήρες και δόση άρδευσης 15 mm.

Η συνολική βροχόπτωση κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου ανήλθε σε 110,4 mm.

Στον Πίνακα 1, δίνονται τα ύψη άρδευσης καθώς και το συνολικό νερό (άρδευση+βροχή+άρδευση φυτρώματος) για κάθε περίπτωση του πειράματος.

Πίνακας 1. *Συνολικά ύψη άρδευσης για κάθε μεταχείριση, ποσοστό αρδευτικού νερού σε σχέση με το ύψος στη μεταχείριση Β και συνολικά ύψη νερού.*

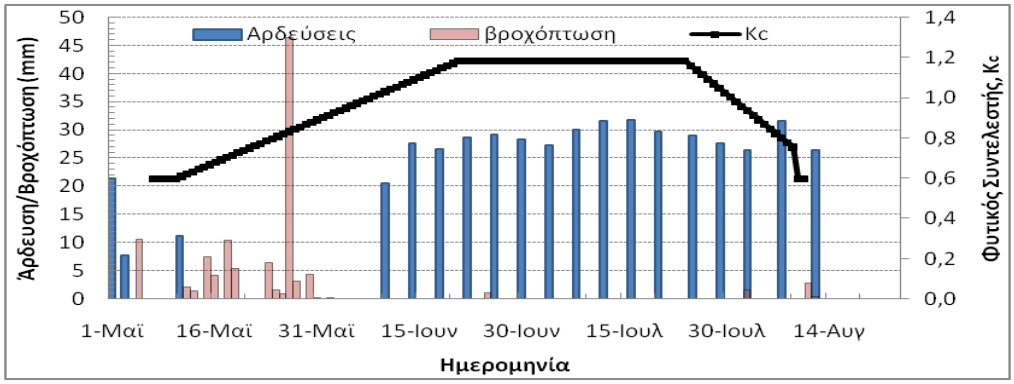
Επίπεδο άρδευσης	Άρδευση mm	% του Β	Σύνολο νερού mm
Α	704,61	120	814,61
Β	587,18	100	697,58
Γ	469,74	80	580,14
Δ	352,31	60	462,71

Το Σχήμα 2 δείχνει το προγραμματισμό των αρδεύσεων με βάση το πρόγραμμα του FAO-56, τον φυτικό συντελεστή της καλλιέργειας και την ωφέλιμη βροχόπτωση.

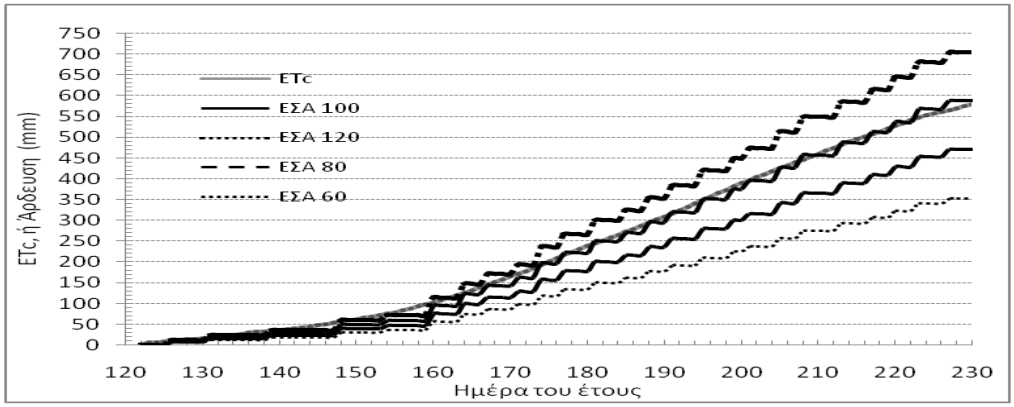
Το Σχήμα 3 δείχνει αθροιστικά το ύψος της άρδευσης σε κάθε μεταχείριση σε σχέση με την εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας.

Πίνακας. 2*. Ανόργανα διαθέσιμα στοιχεία.*

	Μεταχείριση	N(Kg/στρ.) Ανόργανο	P_2O_5 (Kg/στρ.) P-Olsen	K_2O (kg/στρ.) Εναλλακτικό
Έναρξη καλλιεργητικής περιόδου	Α,Β,Γ,Δ	39,19	20,04	218,39
Προσθήκη Λίπανσης	Α, Β,Γ,Δ	25,27	4,92	16,21
Τέλος καλλιεργητικής περιόδου	Α	24,38	19,8	160,75
	Β	37,38	18,43	192,15
	Γ	48,38	19,32	201,01
	Δ	42,25	12,69	210,55



Σχήμα 2. Αρδεύσεις υπολογισμένες από το πρόγραμμα FAO-56.



Σχήμα 3. Συνολικό ύψος άρδευσης ανά μεταχείριση του πειράματος σε σχέση με την εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Στον Πίνακα 2 παρουσιάζονται τα ισοζύγια θρεπτικών στοιχείων στις διαφορετικές μεταχειρίσεις. Επειδή η βιομηχανική τομάτα έχει υψηλές απαιτήσεις σε κάλιο διότι κάθε τόνος της συνολικά παραγόμενης τομάτας αφαιρεί από το έδαφος 4 Kg K_2O, έγινε προσθήκη όλων των βασικών στοιχείων με την ενδεδειγμένη από το πρακτικό λίπανσης θρεπτικών. Η μεταχείριση Α αφαίρεσε από το έδαφος την μεγαλύτερη ποσότητα σε άζωτο και κάλιο όπως φαίνεται και στον Πίνακα 2. Η παραγωγή που έδωσε όμως, δεν δικαιολογεί τόσο μεγάλη απώλεια, άρα λόγω του πλεονάζοντος νερού ενδεχομένως μέρος των στοιχείων αυτών μετακινήθηκαν προς βαθύτερα στρώματα. Αντίθετα η μεταχείριση Δ με το λιγότερο νερό και την χαμηλότερη παραγωγή αφαίρεσε μεγαλύτερες ποσότητες σε άζωτο, φώσφορο και κάλιο, γεγονός που οφείλεται στην δειγματοληψία εδάφους που έγινε κοντά στον σταλακτήρα.

Η καλλιέργεια της βιομηχανικής τομάτας αναπτύσσεται κανονικά σε θερμοκρασίες από 18 έως 28 ^oC. Η ύπαρξη κατά το έτος 2012 θερμοκρασιών μεγαλύτερων των 35 ^oC συνετέλεσε στη μείωση της παραγωγής σε σχέση με το έτος 2011 λόγω της αυξημένης προσβολής των καρπών από ηλιοεγκαύματα.

Η μεταχείριση με τη μεγαλύτερη ποσότητα αρδευτικού νερού (Α), παρουσίασε τη μεγαλύτερη εμπορεύσιμη παραγωγή (5,70 kg/m^{-2}) και το μεγαλύτερο βάρος καρπού (51,00 g). Το γεγονός ότι η ίδια μεταχείριση έδωσε και τη μεγαλύτερη απορριπτόμενη παραγωγή (πράσινη=1,82 kg m^{-2} και σάπια=2,31 kg m^{-2}) δεν αποβαίνει τελικά σε βάρος της μεταχείρισης, γιατί ο λόγος της συνολικής εμπορεύσιμης παραγωγής προς την πράσινη, δεν διέφερε στατιστικώς σημαντικά μεταξύ των μεταχειρίσεων (p=0,077) (Πιν.3). Άλλωστε η ίδια μεταχείριση έδωσε και τη μεγαλύτερη φυτική μάζα (Πιν. 3).

Πίνακας 3. *Συνολική εμπορεύσιμη παραγωγή, απορριπτόμενη παραγωγή (Kg m^{-2}) τομάτας, αναλογία κόκκινης/πράσινης και βάρος καρπού.*

Μετα-χείριση	Αριθμ. Επαναλ. (# καρπών)	Συνολική εμπορεύσιμη παραγωγή (kg m^{-2})	Απορριπτόμενη παραγωγή (kg m^{-2}) πράσινη	σάπια	Αναλογία κόκκινης /πράσινης	Βάρος καρπού (g)
Α	4 (160)	5,70a	1,82a	2,31a	3,13	51,00a
Β	4 (160)	4,37b	1,20b	2,57a	3,64	42,80b
Γ	4 (140)	3,13c	0,66c	2,35a	4,74	41,60b
Δ	4 (160)	2,08d	0,84c	2,44a	2,47	43,80b
Sig.		<0,05	<0,05	<0,05	0,077	0,000

Η στατιστική ανάλυση πραγματοποιήθηκε με το κριτήριο Duncan (p<0,05). Τα διαφορετικά γράμματα δηλώνουν ότι υπάρχουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές.

Επειδή η τιμή της βιομηχανικής τομάτας εξαρτάται από το ποσοστό της κόκκινης παραγωγής δηλαδή την αναλογία κόκκινων/πράσινες, έγινε στατιστική επεξεργασία των δειγμάτων ως προς αυτή την παράμετρο (Πιν. 3) από την οποία δεν προέκυψαν διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων (p=0,077). Επομένως οι διαφορετικές δόσεις άρδευσης δεν βελτιστοποιούν την εκροή της συγκεκριμένης καλλιέργειας ως προς αυτή την ποιοτική παράμετρο της παραγωγής.

Τα διαλυτά στερεά συστατικά (ΔΣΣ) διέφεραν στατιστικώς σημαντικά μεταξύ των μεταχειρίσεων.

Την υψηλότερη τιμή (5,35%) παρουσίασαν οι καρποί της μεταχείρισης με τη μικρότερη ποσότητα νερού άρδευσης και τη μικρότερη (4,31%) οι καρποί με τη μεγαλύτερη ποσότητα νερού άρδευσης. Η τιμή αυτής της ποιοτικής παραμέτρου επηρεάζει επίσης την τιμή της βιομηχανικής τομάτας. Όταν κυμαίνεται μεταξύ 4,0 και 4,6% η τιμή για τον παραγωγό είναι 0,04 € kg^{-1}.μεταξύ 4,7 και 5,0% η τιμή αυξάνεται σε 0,06 € kg^{-1} ενώ όταν τα ΔΣΣ είναι μεγαλύτερα από 5,1% η τιμή γίνεται 0,07 € kg^{-1} (Πιν. 4).

Στη συγκεκριμένη εργασία, η μικρότερη τιμή (0,04 € kg^{-1}, Πιν. 4) για κάποιον παραγωγό που ενδεχομένως θα ακολουθούσε την άρδευση με 120% της εξατμισοδιαπνοής, θα οδηγούσε εκτός από την μόλυνση του περιβάλλοντος, στην οικονομική του ζημιά λόγω αυτής της παραμέτρου, επειδή ο ίδιος παραγωγός είχε και τη μεγαλύτερη εμπορεύσιμη παραγωγή αλλά και τη χαμηλότερη τιμή (Πιν. 3).

Σχετικά με άλλες ποιοτικές παραμέτρους των καρπών όπως το pH και την ογκομετρούμενη οξύτητα, στη βιβλιογραφία αναφέρονται τιμές για το pH από 4,26 έως 4,82 και την οξύτητα από 0,40 έως 0,91% (Stevens et al., 1986).

Πίνακας 4. *Νωπό βάρος της φυτικής μάζας (Kg),τιμές των διαλυτών στερεών συστατικών των καρπών (%) και τιμή πώλησης της βιομηχανικής τομάτας (€ Kg^{-1}).*

Μετα-χείριση	Αριθμ. Επαναλ. (# καρπών)	Νωπό βάρος φυτικής μάζας (kg φυτό$^{-1}$)	Αριθμ. Επαναλ (# καρπών)	ΔΣΣ (%)	Τιμή πώλησης (€ kg-1)
Α	4 (323)	1,91a	4 (120)	4,31c	0,04
Β	4 (352)	1,77a	4 (120)	4,77bc	0,06
Γ	4 (252)	1,24b	4 (117)	5,19ab	0,07
Δ	4 (289)	1,28b	4 (120)	5,35a	0,07
Sig.		0,000		<0,000	

Η στατιστική ανάλυση πραγματοποιήθηκε με το κριτήριο Duncan (p<0,000). Τα διαφορετικά γράμματα δηλώνουν ότι υπάρχουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές

Ακολούθως στη συγκεκριμένη εργασία δεν βρέθηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές στο pH και την ογκομετρούμενη οξύτητα (p>0,05, Πιν. 5), εφόσον οι παράμετροι που τις επηρεάζουν παρέμεναν ίδιες μεταξύ των μεταχειρίσεων. Οι τιμές του pH κυμάνθηκαν από 4,58 έως 4,72 και η ογκομετρούμενη οξύτητα από 0,44 έως 0,48%.

Πίνακας 5. *Τιμές του pH και της ογκομετρούμενης οξύτητας των καρπών (% περιεκτικότητα των καρπών σε κιτρικό οξύ).*

Μεταχείριση	Αριθμ. Επαναλ. (# καρπών)	pH	Οξύτητα (%)
Α	4 (8)	4,65	0,48
Β	4 (8)	4,58	0,48
Γ	4 (7)	4,72	0,47
Δ	4 (8)	4,64	0,44
Sig		=0,163	=0,590

Η στατιστική ανάλυση πραγματοποιήθηκε με το κριτήριο Duncan (p<0,05)
Τα διαφορετικά γράμματα δηλώνουν ότι υπάρχουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές

4 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τα αποτελέσματα της συγκεκριμένης έρευνας η οποία έγινε για δεύτερη συνεχόμενη χρονιά στην ίδια περιοχή αλλά σε διπλανό έδαφος έδειξε ότι, η εφαρμογή διαφορετικών επιπέδων νερού άρδευσης, φαίνεται ότι επηρέασε την ποιότητα και την ποσότητα της βιομηχανικής τομάτας. Συγκεκριμένα επηρέασε τη συνολική εμπορεύσιμη παραγωγή. Το επίπεδο με το 120% της εξατμισοδιαπνοής αν και έδωσε τη μεγαλύτερη παραγωγή, δεν αποβαίνει σε οικονομικό όφελος του παραγωγού, διότι ο παραγωγός έχει χαμηλότερο οικονομικό αποτέλεσμα σε σχέση με το 100%, λόγω της μειωμένης τιμής πώλησης του προϊόντος από το μικρότερο ποσοστό σε διαλυτά στερεά συστατικά. Τα υπόλοιπα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά που εξετάστηκαν δεν επηρεάστηκαν από τα επίπεδα άρδευσης.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Κεφάλαια βιβλίων

Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D. and Smith, M., 1998. Crop Evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper No 56, FAO, Rome.

De Jager J. M. and Kenedy J.A., 1995. Weather-based irrigation scheduling for varius farma (commercial and small-scale). Irrigation scheduling; from theory and practice Paper No 8, FAO, Rome.

Doorenbos, J and Kassam, A H, 1979. Yield Response to Water**,** FAO Irrigation and Drainage Paper No 33 193 p.

Goose, P.G. and Binsted, R. 1964. Tomato Paste, Puree, Juice and Powder, 1st ed Great Britain: Food Trade Press Ltd.

Rinaldi M., G. Trotta, G. Convertini, A.V. Vonella and A. Elia, Alternative Use of nitrogen fertilization of processing tomatoes of The Agrarian Informer, **11** (2003), pp 75–78.

Stevens M. A., Rick C.M. 1986. Genetics and breeding In: Atherton J.G and Rudich J. (Editors) The Tomato Crop Chapman and Hall New York pp 35-109.

United States Department of Agriculture (USDA) 1997. Agricultural Marketing Service. Fruit and Vegetable Division. Fresh Products Branch. United States Standards for Grades of Fresh Tomatoes. Effective October 1, 1991 (Reprinted - January 1997). http://www.ams.usda.gov/standards/tomatfrh

Πρακτικά συνεδρίων

Αλεξίου Ι, Κωτσόπουλος Σ, Καλφούντζος Δ, και Βύρλας Π, 2000. Εκτίμηση της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής μέσω συναρτήσεων διαθεσιμότητας της εδαφικής υγρασίας. 8ο Πανελλήνιο Συνέδριο, Ελληνικής Υδροτεχνικής Ένωσης, Αθήνα, Πρακτικά , 493-500.

Καλφούντζος Δ., Κόκκορα Μ., Βύρλας Π., 2012. Σχέση άρδευσης και παραγωγής βιομηχανικής Τομάτας. Πρακτικά 2ου Κοινού Συνεδρίου Ε.Υ.Ε.=Ε.Ε.Δ.Υ.Π., Πάτρα. 825-833 Κεφάλαια βιβλίων

Παπαϊωάννου Χ., Καλφούντζος Δ., Βύρλας Π., Κόκκορα Μ., Κουτσιανόπουλος Ε., Μάντζιος Ν., Καρκαντά Φ. 2011. Σχέση άρδευσης και ποιοτικών χαρακτηριστικών βιομηχανικής τομάτας. Πρακτικά 7ου Συνέδριου, ΕΓΜΕ, Αθήνα.

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΜΗ ΝΤΑΡΣΙΑΝΗΣ ΡΟΗΣ ΑΠΟ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΑΝΤΛΗΣΗΣ ΜΕ ΜΕΤΑΒΑΛΛΟΜΕΝΗ ΠΑΡΟΧΗ ΦΡΕΑΤΙΟΥ ΜΕΡΙΚΗΣ ΔΙΑΤΡΗΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΙΕΡΙΑ

Δ. Καραμούζης[1], Δ. Καρπούζος[2] και Π. Γεωργίου[3]
Τομέας Εγγείων Βελτιώσεων, Εδαφολογίας και Γεωργικής Μηχανικής, Γεωπονική Σχολή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 54124 Θεσσαλονίκη
E-mail: [1]kardia@agro.auth.gr, [2]dimkarp@agro.auth.gr, [3]pantaz@agro.auth.gr

Οι περιορισμένοι οικονομικοί πόροι δεν επιτρέπουν πάντοτε τη διάνοιξη φρεατίων παρατήρησης σε διάφορες αποστάσεις από την υδρογεώτρηση άντλησης και έτσι συχνά τοποθετείται μόνο ένα πιεζόμετρο στην ίδια την υδρογεώτρηση. Σε αυτή την περίπτωση, η ροή είναι μη νταρσιανή και περιέχει και τον όρο των απωλειών της υδρογεώτρησης. Οι απώλειες της υδρογεώτρησης είναι συνάρτηση της αποτελεσματικής ακτίνας r_e, του συντελεστή των απωλειών του φορτίου του φρεατίου C και του εκθέτη n της παροχής άντλησης, που συνιστούν και τις παραμέτρους της μη νταρσιανής ροής. Στην εργασία αυτή παρουσιάζεται η πορεία εφαρμογής της προτεινόμενης μεθόδου χρησιμοποιώντας τις αντίστοιχες αναλυτικές λύσεις της διαδικασίας του Rorabaugh για άντληση του υδροφορέα από φρεάτιο μερικής διάτρησης με μεταβαλλόμενη παροχή. Η εφαρμογή για τον υπολογισμό των παραμέτρων της μη νταρσιανής ροής γίνεται στον υδροφορέα του Δίου του Νομού Πιερίας. Η εκτίμηση των τιμών των παραμέτρων αυτών συμβάλλει στην ακριβέστερη προσέγγιση των προβλημάτων διαχείρισης των υδρογεωτρήσεων και των υδροφορέων της περιοχής.

Λέξεις κλειδιά: Μη νταρσιανή ροή, υπολογισμός παραμέτρων, απώλειες φορτίου, δοκιμαστική άντληση, φρεάτια μερικής διάτρησης

NON DARCY FLOW PARAMETERS ESTIMATION USING VARIABLE FLOW PUMPING DATA OF A PARTIAL PENETRATION WELL IN PIERIA (KATERINI) REGION

D. Karamouzis[1], D. Karpouzos[2] and P. Georgiou[3]
Department of Hydraulics, Soil Science and Agricultural Engineering, Faculty of Agriculture, Aristotle University of Thessaloniki, 54124 Thessaloniki
E-mail: [1]kardia@agro.auth.gr, [2]dimkarp@agro.auth.gr, [3]pantaz@agro.auth.gr

Limited financial resources do not always permit to install multiple observation wells or piezometers at various distances from the pumping wells. Thus, it is often that only one piezometer is installed at the location of the pumping well. In this case, the flow is non Darcian and the well losses should be taken into account. These losses are a function of the effective radius r_e, the coefficient C and the exponent n of the discharge which are the parameters of the non Darcy flow. In this paper a parameter estimation methodology is presented based on the implementation of the corresponding solutions of the Rorabaugh procedure for pumping of the partial penetration wells with variable flow. An application is given for the estimation of non Darcy flow parameters in the aquifer of Dion in Pieria. The determination of these values contributes to more accurate decision making in groundwater management.

Key words: Non Darcy flow, well losses, aquifer testing, parameter estimation, partial penetration wells

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Όπως είναι ήδη γνωστό, από τα στοιχεία των δοκιμαστικών αντλήσεων υπολογίζονται ο συντελεστής υδραυλικής αγωγιμότητας K και ο συντελεστής αποθήκευσης S, εφαρμόζοντας τη μέθοδο του Theis, του Jacob ή του Ven Te Chow.

Όμως οι μέθοδοι αυτές εφαρμόζονται για την ανάλυση των δεδομένων των δοκιμαστικών αντλήσεων στους κλειστούς υπό πίεση ή και με κατάλληλη τροποποίηση και στους ελεύθερους υδροφορείς, όταν τα φρεάτια άντλησης δεν είναι μερικής φίλτρωσης, δηλαδή όταν οι διάτρητοι σωλήνες καταλαμβάνουν ολόκληρο το πάχος των υδροφορέων. Σε αντίθετη περίπτωση θα πρέπει οι υπολογισμοί να γίνονται εφαρμόζοντας την ανάλυση των διαθέσιμων δεδομένων των δοκιμαστικών αντλήσεων με την τροποποίηση του Hantush είτε στη μέθοδο του Theis είτε στη μέθοδο του Jacob, όταν οι χρόνοι άντλησης είναι αντίστοιχα σχετικά μικροί ή σχετικά μεγάλοι (Καραμούζης, 2013)

Είθισται, για λόγους απλοποίησης να θεωρείται ότι η πιεζομετρική πτώση σε μια υδρογεώτρηση σε ένα υδροφορέα οφείλεται μόνο στις απώλειες φορτίου λόγω της ροής προς την υδρογεώτρηση άντλησης. Στην πράξη όμως στην υδρογεώτρηση παρατηρείται μια επιπρόσθετη πτώση στάθμης, λόγω της ροής μέσω του φίλτρου του πηγαδιού και της συνήθως τυρβώδους ροής, που επικρατεί εντός του πηγαδιού, προς το συγκρότημα άντλησης. (Bear, 1979). Επειδή οι απώλειες αυτές σχετίζονται με την τυρβώδη ροή εντός του πηγαδιού, η πιεζομετρική πτώση λόγω της μη νταρσιανής ροής είναι ανάλογη της νιοστής δύναμης της παροχής άντλησης, Q^n, όπου η τιμή του εκθέτη n είναι σταθερή και

μεγαλύτερη της μονάδας (Todd, 2010). Η μη νταρσιανή ροή γύρω από το πηγάδι είναι ιδιαίτερα σημαντική όταν η παροχή άντλησης είναι μεγάλη, η κατάσταση της υδρογεώτρησης μη ικανοποιητική και η σταθερή απωλειών παίρνει μεγάλες τιμές.

Στην παρούσα εργασία λαμβάνεται υπόψη η συμβολή τόσο της Νταρσιανής όσο και της μη Νταρσιανής ροής. Η απάλειψή της μπορεί να δώσει μικρότερες τιμές στον υπολογισμό των αποστάσεων τοποθέτησης νέων υδρογεωτρήσεων σε έναν υδροφορέα, οδηγώντας έτσι σε μη ορθή διαχείριση του υδατικού δυναμικού του (Καραμούζης και Τερζίδης, 1983). Οι περιορισμένοι οικονομικοί πόροι δεν επιτρέπουν πάντοτε τη διάνοιξη φρεατίων παρατήρησης σε διάφορες αποστάσεις από την υδρογεώτρηση άντλησης και έτσι συχνά τοποθετείται μόνο ένα πιεζόμετρο στην ίδια την υδρογεώτρηση. Σε αυτή την περίπτωση, η ροή είναι μη νταρσιανή και περιέχει και τον όρο των απωλειών της υδρογεώτρησης. Οι απώλειες της υδρογεώτρησης είναι συνάρτηση της αποτελεσματικής ακτίνας r_e, του συντελεστή των απωλειών του φορτίου του φρεατίου C και του εκθέτη n της παροχής άντλησης, που συνιστούν και τις παραμέτρους της μη νταρσιανής ροής. Έτσι, στην παρακάτω ενότητα παρουσιάζεται η μεθοδολογία προσδιορισμού των παραμέτρων της μη Νταρσιανής ροής.

2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Έστω υδροφορέας στον οποίο πραγματοποιείται δοκιμαστική άντληση με μεταβαλλόμενη παροχή και έχοντας διαθέσιμες m τιμές της πιεζομετρικής πτώσης (s_{oi}, i=1,2,..,m) στην υδρογεώτρηση άντλησης, οι οποίες αντιστοιχούν στις τιμές της παροχής Q_i, θα ισχύει η παρακάτω σχέση (Hantush, 1964):

$$s_{oi} = s_{\tau i} + C \cdot Q_i^n \quad (1)$$

όπου $s_{\tau i}$ και CQ_i^n είναι η πιεζομετρική πτώση για νταρσιανή και μη νταρσιανή ροή, αντίστοιχα.

Αν θεωρηθεί ότι στη σχέση (1) η τιμή της σταθερής n είναι ίση με 2, τότε προφανώς έχουμε:

$$s_{oi}/Q_i = B_\tau + C \cdot Q_i \quad (2)$$

Η σχέση αυτή δείχνει ότι όταν τα διαθέσιμα δεδομένα s_{oi}/Q_i και Q_i, των διαφόρων βαθμίδων i=1,2,…,m, της δοκιμαστικής άντλησης, τοποθετηθούν σε ένα χιλιοστομετρικό χαρτί, λαμβάνεται μία ευθεία γραμμή, η οποία έχει κλίση C και επιπρόσθετα για Q_w=0 λαμβάνεται η τιμή της συνάρτησης B_τ από τη σχέση:

$$B_\tau = \left(s_o/Q\right)_o \quad (3)$$

Με γνωστή πλέον την τιμή της B_τ και του σχετικού χρόνου t, στον οποίο αντιστοιχούν οι τιμές της s_o, υπολογίζεται η τιμή της αποτελεσματικής ακτίνας r_e του φρεατίου άντλησης από τη σχέση του Jacob:

$$B_\tau = \frac{2.3}{4\pi T}\log\left(\frac{2.25Tt}{r_e^2 S}\right) \quad (4)$$

όπου T και S είναι η διοχετευτικότητα και η αποθηκευτικότητα του υδροφορέα αντίστοιχα.

Τα στάδια της προτεινόμενης μεθοδολογίας είναι τα εξής:

- Τα δεδομένα της δοκιμαστικής άντλησης με μεταβαλλόμενη παροχή δηλαδή της βαθμωτής δοκιμαστικής άντλησης τοποθετούνται σε ημιλογαριθμικό χαρτί με τις τιμές των s_o στην αριθμητική κλίμακα και τις τιμές του χρόνου t στη λογαριθμική κλίμακα.
- Επιλέγεται ένας ενδεικτικός χρόνος t_1^* της περιοχής δεδομένων της πρώτης βαθμίδας και σημειώνονται οι σχετικοί αντίστοιχοι χρόνοι στις υπόλοιπες βαθμίδες, οι οποίοι θα είναι: $t_1^* = t_2^* = \ldots = t_n^*$.
- Προεκτείνονται τα δεδομένα κάθε βαθμίδας και υπολογίζονται οι διαφορές των πιεζομετρικών πτώσεων δs_{oi}, οι οποίες αντιστοιχούν στους σχετικούς χρόνους t_1^*. Στη συνέχεια υπολογίζονται οι τιμές των $s_{oi}=\Sigma\delta s_{oi}$ και από αυτές οι τιμές των λόγων s_{oi}/Q_i.
- Τοποθετούνται τα δεδομένα των (s_{oi}/Q_i) και Q_i σε χιλιοστομετρικό χαρτί και φέρεται η ευθεία που περνάει ανάμεσα από αυτά τα δεδομένα.
- Υπολογίζεται η κλίση της ευθείας αυτής, οπότε ο συντελεστής C θα είναι:

$$C = \frac{\Delta\left[s_o\left(t_i^*\right)_i / Q_i\right]}{\Delta Q_i} \quad (5)$$

- Προεκτείνοντας την ευθεία αυτή διαβάζεται η τιμή του λόγου $(s_o/Q)_o$, η οποία αντιστοιχεί στην τιμή Q_o=0. Έτσι το B_τ θα δίνεται από τη σχέση (3).
- Με γνωστές τις τιμές των B_τ, t_i^*, KB και S και λύνοντας την εξίσωση (4) ως προς r_e^2 παίρνουμε:

$$r_e^2 = \frac{2.25KBt}{S}\exp\left(-4\pi \cdot KB \cdot B_\tau\right) \quad (6)$$

από την οποία υπολογίζεται η τιμή της αποτελεσματικής ακτίνας r_e.

Όταν στην εξίσωση (1) η τιμή του εκθέτη n είναι άγνωστη και διάφορη του 2, θα πρέπει να υπολογιστεί. Η διαδικασία που ακολουθείται έχει αναπτυχθεί από τον Rorabaugh (1953). Σύμφωνα με αυτόν η εξίσωση (1) είναι:

$$s_{oi}/Q_i - B_{\tau i} = C \cdot Q_i^{n-1} \quad (7)$$

από την οποία παίρνουμε:

$$\log\left(s_{oi}/Q_i - B_{\tau i}\right) = \log C + (n-1)\log Q_i \quad (8)$$

Η μέθοδος αυτή προκύπτει από μία εμπειρική λύση, η οποία, όπως φαίνεται και από τη σχέση (8), παίρνεται γραφικά από την ευθεία γραμμή ενός λογαριθμικού χαρτιού. Κατ' αρχήν, παραδεχόμαστε ορισμένες τιμές του $B_{\tau i}$. Στη συνέχεια τοποθετούνται τα δεδομένα των (s_{oi}/Q_i-$B_{\tau i}$) και Q_i στο λογαριθμικό χαρτί. Η λύση που παίρνεται αντιστοιχεί στην τιμή του B_τ, η οποία καθορίζει μία ευθεία γραμμή. Για την τιμή Q_i=1, από τη σχέση (8) θα είναι:

$$C = \left(s_o/Q - B_\tau\right)_{Q_i=1} \quad (9)$$

Αν πάνω στην ευθεία αυτή πάρουμε δύο τιμές Q_1 και Q_2 που απέχουν ένα λογαριθμικό κύκλο, σύμφωνα με τη σχέση (8) θα έχουμε:

$$\log\left(s_o/Q-B_\tau\right)_2-\log\left(s_o/Q-B_\tau\right)_1=(n-1)\log\left(Q_2/Q_1\right)$$

από την οποία επειδή $\log(Q_2/Q_1)=1$, παίρνουμε:

$$n=1+\log\frac{\left(s_o/Q-B_\tau\right)_2}{\left(s_o/Q-B_\tau\right)_1} \quad (10)$$

Επίσης, με τη βοήθεια της εξίσωσης (7) για τις δύο παροχές άντλησης Q_1 και Q_2 θα έχουμε αντίστοιχα:

$$s_{o1}/Q_1-B_\tau=CQ_1^{n-1} \quad (11\alpha)$$

$$s_{o2}/Q_2-B_\tau=CQ_2^{n-1} \quad (11\beta)$$

Διαιρώντας τις σχέσεις αυτές μεταξύ τους και λύνοντας ως προς B_τ παίρνουμε:

$$B_\tau=\frac{\frac{s_{o1}}{Q_1}-\frac{s_{o2}}{Q_2}\left(\frac{Q_1}{Q_2}\right)^{n-1}}{1-\left(\frac{Q_1}{Q_2}\right)^{n-1}} \quad (12)$$

Η σχέση αυτή χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της B_τ, καθώς ο εκθέτης n μόλις υπολογίστηκε με τη βοήθεια της εξίσωσης (10) και οι τιμές s_{o1}, s_{o2}, Q_1 και Q_2 είναι γνωστές από τα δεδομένα της δοκιμαστικής άντλησης. Η γενική πορεία της μεθόδου ακολουθεί τα εξής βήματα:

1. Για διάφορες τιμές των $B_{\tau i}$ υπολογίζονται οι τιμές $(s_{oi}/Q_i-B_{\tau i})$ από τα δεδομένα των πιεζομετρικών πτώσεων s_{oi}, τα οποία αντιστοιχούν στις διάφορες τιμές της παροχής Q_i των διαφόρων βαθμίδων, αλλά στον ίδιο χρόνο t^*.
2. Τα δεδομένα του προηγούμενου βήματος 1 τοποθετούνται σε λογαριθμικό χαρτί και παίρνεται μία ομάδα καμπυλών, οι οποίες αντιστοιχούν στις διάφορες τιμές των $B_{\tau i}$.
3. Με βάση αυτές τις καμπύλες φέρεται η ευθεία γραμμή που βρίσκεται ανάμεσα σε αυτές και εκτιμάται η τιμή του B_τ με την οποία τα δεδομένα δίνουν την ευθεία γραμμή.
4. Διαβάζονται πάνω στην ευθεία γραμμή οι τιμές των $(s_{oi}/Q_i-B_\tau)_1$ και $(s_{oi}/Q_i-B_\tau)_2$, οι οποίες αντιστοιχούν σε δύο τιμές παροχών που απέχουν ένα λογαριθμικό κύκλο, δηλαδή είναι $Q_2/Q_1=10$.
5. Υπολογίζεται η τιμή του n, με τη βοήθεια των τιμών αυτών, από τη σχέση (10).
6. Υπολογίζεται η τιμής της B_τ με τη βοήθεια της εξίσωσης (12) χρησιμοποιώντας τα δεδομένα δύο βαθμίδων άντλησης.
7. Διαβάζεται η τιμή $(s_o/Q-B_\tau)_0$, η οποία αντιστοιχεί στην τιμή $Q_o=1$, οπότε από τη σχέση (8) προκύπτει ότι:

$$C=\left(s_o/Q-B_\tau\right)_o \quad (13)$$

8. Όπως και στο βήμα 7 της μεθόδου για n=2, υπολογίζεται η τιμή της αποτελεσματικής ακτίνας r_e, με τη βοήθεια της σχέσης (8) αφού είναι γνωστές πλέον οι τιμές των B_τ, t_i^*, KB και S.

3. ΕΦΑΡΜΟΓΗ - ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Η περιοχή μελέτης αφορά την λεκάνη της Κατερίνης (Πιερίας) και ειδικότερα το υδροφόρο σύστημα του Ολύμπου. Το τελευταίο αποτελείται από τον ορεινό όγκο του Ολύμπου και τμήμα της πεδιάδας της Κατερίνης μέχρι τον πόταμο Αίσονα (Υδρογαία 1975; Καραμούζης κ. άλ., 1985, 1986; Καβαλιεράτου 2007). Στους σχηματισμούς της περιμέτρου είναι συνεχής και συμπεριφέρεται ως υδροφορέας ελεύθερης επιφάνειας ενώ στο πεδινό τμήμα της λεκάνης λόγω της αργιλλικής επικάλυψης ο υδροφορέας βρίσκεται υπό πίεση. Η μεθοδολογία της παρούσας εργασίας βασίστηκε σε στοιχεία δοκιμαστικών αντλήσεων που έγιναν στην υδρογεώτρηση μερικής διάτρησης Β3 της περιοχής του Δίου (Υδροέρευνα, 1981).

Ο υδροφορέας στην περιοχή του Δίου είναι ένας ελεύθερος πολύ βαθής υδροφορέας. Για τον υπολογισμό των υδρογεωλογικών σταθερών του υδροφορέα εφαρμόστηκε η μέθοδος των Hantush-Theis (Kruseman and de Ridder, 1970), επειδή η υδρογεώτρηση άντλησης στην οποία έγιναν οι μετρήσεις της πιεζομετρικής πτώσης είναι μερικής διάτρησης και εισάγονται επιπρόσθετα η διορθωμένη πιεζομετρική πτώση (Τερζίδης και Καραμούζης, 1985). Για τον υπολογισμό της υδραυλικής αγωγιμότητας K, του πάχους της πιεζομετρικής επιφάνειας από το αδιαπέρατο υπόστρωμα B, της διοχετευτικότητας T=KB και της αποθηκευτικότητας S χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα της Υδροέρευνας (1981) που αναφέρονται στην άντληση του πρώτου βήματος (Καραμούζης κ. άλ., 1985). Με βάση την παραπάνω επεξεργασία πάρθηκαν οι τιμές K=6.804 x 10^{-2} m/min, (S/B)=4.218 x 10^{-6} m^{-1}, B= 726.66 m, οπότε τελικά οι τιμές των T και S είναι 71193,6 m^2/ημέρα=49.44 m^2/min και 3.065 10^{-3}, αντίστοιχα.

Τα δεδομένα της δοκιμαστικής άντλησης της υδρογεώτρησης Β-3 παρουσιάζονται στις στήλες 1 και 2 του Πίνακα 1, τα οποία αντιστοιχούν στο σχετικό χρόνο t*=60 min. Ακολουθώντας τα βήματα 1 έως 8 της προηγούμενης παραγράφου για n≠2, υπολογίζονται οι τιμές, για ορισμένες τιμές των B_τ, των όρων s_o/Q - B_τ και συμπληρώνονται οι στήλες (4) έως (8). Τα δεδομένα αυτά τοποθετούνται στο λογαριθμικό χαρτί του Σχήματος 1, και φέρονται οι αντίστοιχες καμπύλες. Με βάση αυτές τις καμπύλες φέρεται η ευθεία γραμμή η οποία αντιστοιχεί σε μια του B_τ. Εκλέγοντας δύο τιμές της παροχής Q οι οποίες να απέχουν ένα λογαριθμικό κύκλο, Q_1=100 και Q_2=1000, διαβάζονται οι αντίστοιχες τιμές s_o/Q - B_τ = 1.34 10^{-3} και s_o/Q - B_τ =3.25 10^{-3}. Αντικαθιστώντας τις τιμές αυτές στη σχέση (10), προκύπτει:

$$n=1+\log\frac{3.25\cdot10^{-3}}{1.34\cdot10^{-3}}=1.3848 \quad (14)$$

Από την παραπάνω σχέση με τη βοήθεια των στηλών (1) και (3) και για n=1.3848, υπολογίζεται η τιμή του B_τ για t*=60 min:

$$B_\tau=\frac{[2.433-2.675\cdot(300/400)^{(1.3848-1)}]\cdot10^{-3}}{1-(300/400)^{(1.3848-1)}}= \quad (15)$$

$$=3.657\cdot10^{-4}\,\text{hr}/\text{m}^2=2.19408\cdot10^{-2}\,\text{min}/\text{m}^2$$

Πίνακας 1: Επεξεργασία δεδομένων υπολογισμού των n, r_e και C.

Παροχή Q_i (m^3/hr)	**Πιεζ. πτώση s_{oi} (m)**	**s_{oi}/Q_i *10^{-3} (hr/m^2)**	**Τιμές του όρου (s_{oi}/Q_i - $B_τ$) * 10^{-3}**				
			Τιμές του $B_τ$				
			$14*10^{-4}$	$8.5*10^{-4}$	$4.0*10^{-4}$	$3.0*10^{-4}$	$2.0*10^{-4}$
(1)	**(2)**	**(3)**	**(4)**	**(5)**	**(6)**	**(7)**	**(8)**
300	0.73	2.433	1.033	1.583	2.033	2.133	2.233
400	1.07	2.675	2.275	1.825	2.275	2.375	2.475

Αντικαθιστώντας στην εξίσωση (6) τις τιμές T= 49.44 m^2/min, S = 3.065 x 10^{-3}, t*=60 min, $B_τ$ = 2.19408 x 10^{-2} min/m^2, παίρνουμε:

$$r_e^2 = \frac{2.25 \cdot 49.44 \cdot 60}{3.065 \cdot 10^{-3}} \cdot$$

$$\exp(-4 \cdot 3.14 \cdot 49.44 \cdot 2.19408 \cdot 10^{-2}) = \quad (16)$$

$$= 2.636\ m^2$$

Έτσι η αποτελεσματική ακτίνα θα είναι r_e=1.62m.

Για τον υπολογισμό του συντελεστή απωλειών C χρησιμοποιείται η εξίσωση (1) με $s_{τi} = B_τ \cdot Q$ και τα δεδομένα της πρώτης βαθμίδας της δοκιμαστικής άντλησης, που είναι s_{o1}=0.73m και Q_1=300m^3/hr. Επειδή n=1.3848 και $B_τ$=3.657 10^{-4} hr/m^2 από την εξίσωση (1), προκύπτει:

$$C = \frac{s_{oj} - B_τ Q_j}{Q_j^n} =$$

$$\frac{(0.73m) - (3.657 \cdot 10^{-4} hr/m^2)(300 m^3/hr)}{300^{1.3848}} = \quad (17)$$

$$= 2.303 \cdot 10^{-4} \frac{hr^n}{m^{3n-1}}$$

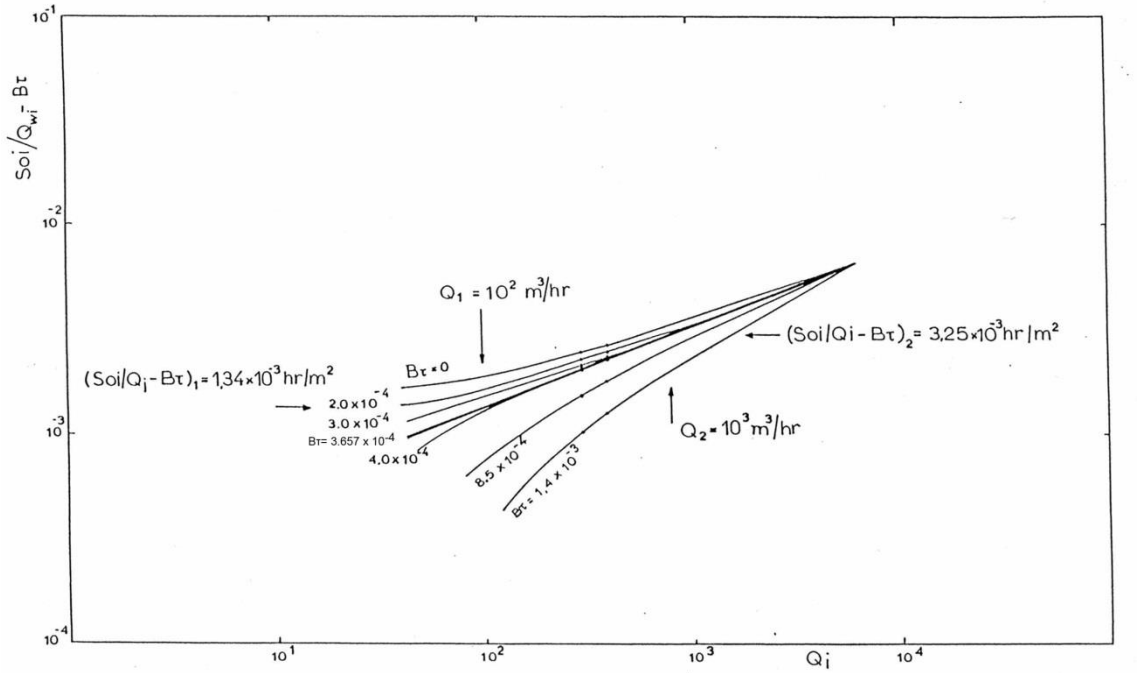
Για τον έλεγχο των τιμών των $B_τ$, r_e και C αντικαθιστούμε την παροχή της δεύτερης βαθμίδας της δοκιμαστικής άντλησης στην παρακάτω εξίσωση, οπότε παίρνουμε:

$$s_{02} = B_τ Q_2 + C Q_2^n =$$

$$= (3.657 \cdot 10^{-4} hr/m^2)(400 m^3/hr) + \quad (18)$$

$$+ (2.303 \cdot 10^{-4})(400)^{1.3847} = 1.070m$$

Όπως παρατηρείται, η τιμή αυτή είναι ίδια με την πραγματική τιμή της πιεζομετρική πτώσης στο φρεάτιο άντλησης, η οποία μετρήθηκε στο χρόνο t=60min. Συνεπώς οι τιμές των $B_τ$, r_e και C είναι ορθές.



Σχήμα 1. Ανάλυση δεδομένων υπολογισμού των $B_τ$ r_e και C στην υδρογεώτρηση Β-3 (Δίον Πιερίας).

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα εργασία παρουσιάστηκε η μεθοδολογία υπολογισμού των παραμέτρων του φρεατίου άντλησης που απαιτούνται στη συνήθη περίπτωση όπου τα δεδομένα των διαθέσιμων μετρήσεων πιεζομετρικής πτώσης περιορίζονται μόνο σε αυτά του πιεζομέτρου της υδρογεώτρησης. Στην περίπτωση αυτή πρέπει να λαμβάνεται υπόψη και η συνιστώσα της μη νταρσιανής ροής, με παραμέτρους το συντελεστή C, τον εκθέτη n της παροχής και την αποτελεσματική ακτίνα r_e της υδρογεώτρησης, κατά τον υπολογισμό της πιεζομετρικής πτώσης. Ιδιαίτερα δε, η μεθοδολογία που παρουσιάστηκε συνιστάται όταν η υδρογεώτρηση είναι μερικής διάτρησης, όπως συνήθως συμβαίνει σε υδροφορείς μεγάλου πάχους.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Bear, J., 1979. Hydraulics of groundwater, McGraw Hill.

Hantush, M.S., 1964α. Drawdown around wells of variable discharge. J. of Geoph. Res., 69(20):4221-4235.

Hantush, M.S., 1964β. Hydraulics of Wells. In Hydroscience, vol. 1, Academic Press, New York.

Καβαλιεράτου, Σ., 2007. Ανάλυση και διερεύνηση της βιώσιμης διαχείρισης των υπογείων νερών με μαθηματικά μοντέλα σε περιβάλλον GIS. Διδακτορική Διατριβή. Γεωπονική Σχολή ΑΠΘ.

Καραμούζης, Δ.Ν., 2013. Υδραυλική και Διαχείριση Υπόγειων Υδάτων. Υπό Έκδοση.

Καραμούζης, Δ.Ν., Καλαϊτζίδου-Πάϊκου, Ν., Παπαμιχαήλ, Δ., Κωτσόπουλος, Σ. και Καλαμπίδης, Δ., 1985. Μελέτη Υδρογεωλογικών Παραμέτρων. Έκθεση στο Ερ. Πρόγραμμα: Κατάρτιση Μαθηματικού Μοντέλου Πεδιάδας Πιερίας, Α.Π.Θ.

Καραμούζης, Δ.Ν., Καλαϊτζίδου-Πάϊκου, Ν., Παπαμιχαήλ, Δ., Κωτσόπουλος, Σ. και Καλαμπίδης, Δ., 1986. Ανάλυση Δεδομένων Δοκιμαστικών Αντλήσεων. Έκθεση στο Ερ. Πρόγραμμα: Κατάρτιση Μαθηματικού Μοντέλου Πεδιάδας Πιερίας, Α.Π.Θ.

Καραμούζης, Δ.Ν., Τερζίδης, Γ.Α., 1983. Υπολογισμός απόστασης φρεατίων άντλησης με νταρσιανή και μη νταρσιανή ροή. Υδροτεχνικά, 1(1):79-92.

Kruseman, G.P., De Ridder, N.A., 1970. Analysis and Evaluation of Pumping Test Data. Intern. Inst. for Land Recl. and Impr. Bul. 11, Wageningen, Netherlands.

Rorabaugh, M.I., 1953. Graphical and theoretical analysis of step drawdown test of artesian well, PASCE, 79(362):1-23.

Τερζίδης, Γ.Α., Καραμούζης, Δ.Ν., 1985. Υδραυλική Υπογείων Νερών. Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη.

Todd, D.K., 2010. Groundwater Hydrology. John Wiley and Sons.

Υδρογαία, 1975. Υδρογεωλογική προμελέτη περιοχής Κατερίνης Πιερίας.

Υδροέρευνα ΑΕ, 1981. Άρδευση περιοχής Κατερίνης από υπόγεια νερά.

ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΗΣ ΚΑΜΠΥΛΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΣΥΣΚΕΥΗΣ RICHARDS ΚΑΙ ΔΙΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ

Γιώργος Μπουραζάνης[1], Γιώργος Κάργας[2] , Πέτρος Κερκίδης[3]

[1] Δ/νση Αγροτικής Οικονομίας & Κτηνιατρικής, Περιφερειακή Ενότητα Λακωνίας, Περιφέρεια Πελοποννήσου, 2Ο χλμ. Σπάρτης Γυθείου, 23100 Σπάρτη,

[2,3] Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Ιερά Οδός 75, 11855 Αθήνα

gbourazanis@windtools.gr, kargas@aua.gr , kerkides@aua.gr

Η γνώση των υδραυλικών ιδιοτήτων των γεωργικών εδαφών και ειδικότερα της χαρακτηριστικής καμπύλης υγρασίας (ΧΚΥ) είναι μεγάλης σημασίας διότι υπεισέρχεται σε κάθε πτυχή της διαχείρισης του αρδευτικού νερού. Δεδομένα για την παρουσίαση της ΧΚΥ προσδιορίζονται ευκολότερα στο εργαστήριο απ' ότι στον αγρό. Υπάρχουν αρκετές εργαστηριακές μεθοδολογίες για τον προσδιορισμό ζευγών τιμών της, όπως οι συσκευές Haines και Richards, τα κύτταρα πίεσης κ.ά.. Με την παρούσα εργασία, δοκιμάζεται μία νέα μεθοδολογία προσδιορισμού ζευγών τιμών της ΧΚΥ, με τη ταυτόχρονη χρήση συσκευής Richards και ενσωματωμένης σ' αυτή διηλεκτρικής συσκευής. Ο συνδυασμός αυτός επιτρέπει τη σχετικά εύκολη εφαρμογή φορτίου πίεσης, *H*, με τη συσκευή Richards, ενώ συγχρόνως η διηλεκτρική συσκευή προσδιορίζει την κατ' όγκο υγρασία, *Θ*, του δείγματος. Με την παρούσα μεθοδολογία δεν απαιτείται η διακοπή της διαδικασίας εφαρμογής πίεσης, το άνοιγμα της συσκευής και ο ανεξάρτητος προσδιορισμός της κατά μάζα, πρώτα, υγρασίας του δείγματος ($Θ_m$) και ακολούθως, μέσα από τον προσδιορισμό της φαινομενικής πυκνότητας των στερεών συστατικών του εδάφους, $ρ_φ$, της κατ' όγκο υγρασίας ($Θ_v$). Παρουσιάζονται ΧΚΥ, αδιατάρακτων δειγμάτων που ελήφθησαν από κατατομή, σε βάθη 0-10 και 10-20 cm όπως αυτές προσδιορίσθηκαν με τη χρήση του πιο πάνω συνδυασμού συσκευών και διαταραγμένων δειγμάτων με την κλασική μεθοδολογία της συσκευής Richards. Οι χρησιμοποιηθείσες συσκευές και οι πειραματικές μεθοδολογίες παρουσιάζονται αναλυτικά. Γίνεται σύγκριση των αποτελεσμάτων των δύο μεθοδολογιών και εξετάζονται τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά τους. Τέλος, σχολιάζονται ζητήματα, όπως ο η ευκολία της μεθόδου, ο χρόνος που απαιτείται για λήψη μετρήσεων και εξάγονται χρήσιμα συμπεράσματα

Λέξεις κλειδιά: προσδιορισμός χαρακτηριστική καμπύλη υγρασίας, συσκευή Richards, διηλεκτρική συσκευή

DETERMINATION OF SOIL MOISTURE CHARACTERISTIC CURVE USING RICHARD'S DEVICE AND DIELECTRIC SENSOR

George Bourazanis[1], George Kargas[2], Petros Kerkides[3]

[1]Department of Rural Economy and Veterinary of Regional Government of Laconia, Sparta, Laconia, 23100, Greece

[2,3] Laboratory of Agricultural Hydraulics, Department of Natural Resources development and Agricultural Engineering University of Athens, 11855, Athens, Greece

gbourazanis@windtools.gr, kargas@aua.gr , kerkides@aua.gr

The knowledge of the hydraulic properties of agricultural soils and especially of the soil moisture characteristic curve (SMCC) is an important issue, which has to do with every aspect of the management of irrigated agriculture. Determination of the SMCC is easier to obtain in the laboratory than in the field. There are several available laboratory methodologies for determining the SMCC like Haines device, Richards's device, pressure cells and other. In this study, a new methodology for determining the SMCC is tested. The Richard's and the dielectric devices are used simultaneously. This combination allows for relatively easy application of pressure head, with the Richard's device, while the dielectric device determines the volumetric moisture, $Θ_v$, of the sample, without, interruption of the pressure application process, (opening the device and first the independent determination of the mass based moisture content ($Θ_m$) and then, through the determination of the bulk density of the solid components of the soil, $ρ_b$, of the volume based moisture content ($Θ_v$). SMCCs determined with the described devices combination and only with Richard's device are compared. The soil samples were taken from a profile, at depths from 0 to 10 and 10-20 cm. Analytical description of the methodology applied is provided below in the text. The comparison indicates that:

1. The combination of Richard's device and dielectric sensor works satisfactorily.
2. It is less time consuming and less laborious.
3. With a suitable calibration $ρ_φ$ is not necessary and therefore possible negative effect might be removed.

Key words: soil moisture characteristic curve determination, Richard's device, dielectric device

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Είναι γεγονός ότι ο σχεδιασμός άρδευσης με τον παραδοσιακό τρόπο ποτίσματος (κατάκλυση) στηρίζεται σε δύο αδόκιμες σταθερές, την υδατοϊκανότητα $Θ_{Fc}$ (Field Capacity) και το σημείο μονίμου μαράνσεως $Θ_{PWP}$ (Permanent Wilting Point). Η πλήρης γνώση της χαρακτηριστικής καμπύλη υγρασίας είναι ουσιαστικής σημασίας τόσο για τον προσδιορισμό της δόσης άρδευσης αλλά και για άλλα συναφή με την άρδευση και ορθολογική

διαχείριση της αρδευόμενης γεωργίας προβλήματα όπως η κίνηση των διαλυτών ουσιών και η αλατότητα το φαινόμενο της ανακατανομής του αρδευτικού νερού κ.α.. Τούτο γιατί όλα τα εννοιολογικά μοντέλα πρόβλεψης άλλων υδραυλικών ιδιοτήτων των εδαφών όπως η $K(\Theta)$, η $K(H)$ η $D(\Theta)$ η $S(\Theta)$ κ.λ.π. μπορούν να εφαρμοσθούν μόνο αν έχουν προσδιορισθεί ανεξάρτητα και αξιόπιστα ζεύγη τιμών υγρασίας πίεσης της ΧΚΥ.

Ο προσδιορισμός αυτός απαιτεί την ταυτόχρονη γνώση της κατ' όγκο υγρασίας Θ_V και του αντίστοιχου φορτίου πίεσης H. Τούτο μπορεί να γίνει στον αγρό με τη χρήση οργάνων που προσδιορίζουν το H (βαθμονομημένα πλακίδια βουγιούκου, υδραργυρικά ή άλλα τασίμετρα) αλλά συγχρόνως για τον ίδιο όγκο εδάφους να παρέχεται και η δυνατότητα προσδιορισμού της Θ (συσκευές νετρονίων, και πρόσφατα διηλεκτρικές συσκευές TDR, FDR, ADR κ.α.). Στο εργαστήριο ο προσδιορισμός ζευγών τιμών της ΧΚΥ γίνεται ενδεχομένως πιο εύκολα τόσο σε διαταραγμένα (κυρίως) αλλά και αδιατάρακτα δείγματα με συσκευές Haines για σχετικά μεγάλα φορτία πίεσης H>-1 bar και με συσκευές πίεσης (Richard's ή κύτταρα πίεσης) για μικρότερα φορτία H. Η συσκευή Richard's προωθήθηκε από την Soil Moisture για τον προσδιορισμό των Θ_{Fc} και Θ_{PWP} με την κατασκευή πορωδών πλακών με εύρος πίεσης λειτουργίας τους το 1/3 και τα 15 bars αντίστοιχα για τις Θ_{Fc} και Θ_{PWP}.

Κατά τα άλλα αν θελήσει κανείς να προσδιορίσει ζεύγη τιμών υγρασίας-πίεσης της ΧΚΥ με τη συσκευή Richard's δεν έχει παρά να ακολουθήσει την κλασική διαδικασία πολλών δειγμάτων, που το καθένα χρησιμοποιείται για ένα ζεύγος τιμών (H, Θ) δηλαδή για ένα σημείο της ΧΚΥ.

Στόχοι αυτής της εργασίας είναι:

1. να παρουσιαστεί μία νέα μέθοδος με την οποία μπορεί να προσδιορισθεί όλη η ΧΚΥ για αδιατάρακτο δείγμα μέχρι και τα 15 bar και
2. να συγκριθούν ΧΚΥ προσδιορισμένες με τις δύο μεθόδους (Richard's και νέα μέθοδος) για δύο εδαφικά δείγματα (0-10 και 10-20 cm) και να διερευνηθεί ειδικά στα μικρά φορτία πίεσης ποια είναι η συσχέτιση της ΧΚΥ που προσδιορίζεται με την κλασική μέθοδο Richard's στη οποία συνήθως χρησιμοποιείται διαταραγμένο εδαφικό δείγμα με την ΧΚΥ του ίδιου εδαφικού δείγματος χωρίς αυτό να έχει διαταραχθεί

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

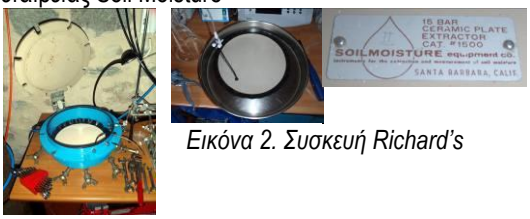
2.1.Δειγματολήπτης Αδιατάρακτου

Για τη λήψη αδιατάρακτων δειγμάτων κατασκευάστηκε δειγματολήπτης και περιέκτες από διάφανο πλαστικό. Ο πλαστικός περιέκτης είχε ύψος 6 cm και διάμετρο 10 cm. Επίσης είχε στο πλάι οπή διαμέτρου 4,4 cm ώστε να μπορεί να εισάγεται στο αδιατάρακτο δείγμα κατά την έννοια της καθέτου του άξονα του κυλίνδρου ο διηλεκτρικός αισθητήρας. Οι διαστάσεις του πλαστικού κυλίνδρου επελέγησαν με στόχο ο όγκος του εδαφικού δείγματος να καλύπτει τον όγκο δειγματοληψίας της διηλεκτρικής συσκευής.

Εικόνα 1. Ο δειγματολήπτης αδιατάρακτου με τα τμήματά του καθώς και ο πλαστικός περιέκτης με τα χαρακτηριστικά του

2.2.Η συσκευή Richard's

Για τον προσδιορισμό της ΧΚΥ χρησιμοποιήθηκε συσκευή Richard's με κεραμική πλάκα 15 Atm της εταιρείας Soil Moisture



Εικόνα 2. Συσκευή Richard's

2.3.Διατάξεις εφαρμογής πίεσης

Ως πηγές αέρα υπό πίεση χρησιμοποιήθηκαν ένας ηλεκτρικός αεροσυμπιεστής με αεροθάλαμο με δυνατότητα διατήρησης πίεσης στις 6 Atm και ένας αεροθάλαμος πεπιεσμένου ξηρού αέρα 200 Atm.

Εικόνα 3. Μέσα εφαρμογής πίεσης

Η διάταξη ρύθμισης πίεσης αποτελείτο για τον ηλεκτρικό αεροσυμπιεστή από ζεύγος υδατοπαγίδας και ελαιοπαγίδας και από τρεις ρυθμιστές ακριβείας διαφορετικού εύρους ρύθμισης ο καθένας και για τον αεροθάλαμο υψηλής πίεσης πεπιεσμένου ξηρού αέρα ένας ρυθμιστής υποβιβασμού υψηλής πίεσης και δύο ρυθμιστές πίεσης ακριβείας διαφορετικού εύρους ο καθένας.

Εικόνα 4. Γραμμές ρύθμισης πίεσης για τον ηλεκτρικό αεροσυμπιεστή και για τον αεροθάλαμο πεπιεσμένου αέρα και ρυθμιστές αυτών

2.4.Διηλεκτρική συσκευή

Η διηλεκτρική συσκευή που χρησιμοποιήθηκε ήταν η ML2 της Delta-T με μήκος δρομέων/ακίδων 6 cm και η ανάγνωση των μετρήσεων γινόταν με το μετρητή HH2 της ίδιας εταιρείας.

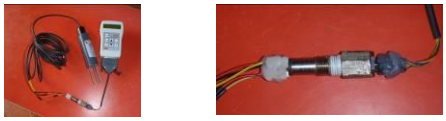
Εικόνα 5. Διηλεκτρική συσκευή και καταγραφικό δεδομένων

Η συσκευή ML2 ανήκει στην κατηγορία των ADR (Amplitude Domain Reflectometry) και λειτουργεί σε συχνότητα 100 MHz. (Munioz-Carpena, Ritter and Bosch, 2005)

2.5.Σύνδεση στη Richard's με τη διηλεκτρική συσκευή

Η σύνδεση της διηλεκτρικής συσκευής με την Richard's έγινε μέσω εξαρτήματος της συσκευής και πριν τη λήψη των μετρήσεων έγινε έλεγχος σωστής λειτουργίας της.

Εικόνα 6. Εξάρτημα μέσω του οποίου έγινε η σύνδεση με τη διηλεκτρική συσκευής το logger



Εικόνα 7. Η διηλεκτρική συσκευή με την παρεμβολή του εξαρτήματος της συσκευής Richard's

Κατά τη μεθοδολογία αυτή ο αισθητήρας βρίσκεται οριζόντια εντός της συσκευής Richard's, καρφωμένος στο εδαφικό δείγμα με είσοδό του από την πλαϊνή οπή του διάφανου πλαστικού περιέκτη και συνδεδεμένος εξωτερικά με το μετρητή με την παρεμβολή του εξαρτήματος της συσκευής Richard's.

Εικόνα 8. Παρουσίαση της συνδεσμολογίας και της τοποθέτησης του δείγματος στη συσκευή Richard's

2.6.Διαδικασία προσδιορισμού της ΧΚΥ με την συσκευή Richard's (Klute A. 2006)

«Μεταλλικοί δακτύλιοι με διάμετρο 4.6 cm και ύψος 1cm πληρούνται με αεροξηραμένα και κοσκινισμένα (δ<2mm) εδαφικά δείγματα Το πλήθος των δειγμάτων ισούται με τον αριθμό των σημείων της ΧΚΥ που είναι επιθυμητό να προσδιορισθούν. Καταβάλλεται προσπάθεια τα δείγματα αυτά να έχουν την ίδια φαινομενική πυκνότητα. Τα δείγματα τοποθετούνται επί της κεραμικής πλάκας και ακολούθως πλάκα και δείγματα κορένονται από κάτω προς τα επάνω. Ακολούθως τοποθετείται η πλάκα με τα δείγματα εντός της συσκευής Richard's και συνδέεται η έξοδος του νερού με το βύσμα εξόδου που υπάρχει επί του τοιχώματος της συσκευής. Σφραγίζεται η συσκευή και αρχίζει η εφαρμογή προαποφασισμένων τιμών θετικών πιέσεων. Σε κάθε εφαρμοζόμενη θετική τιμή πίεσης αρχίζει να εξέρχεται νερό από την οπή εξόδου μέχρι να επέλθει νέα ισορροπία όπου και σταματάει η έξοδος νερού. Τότε μηδενίζεται η εφαρμοζόμενη θετική πίεση ανοίγεται η συσκευή αφαιρείται ένα δείγμα με προσοχή ώστε να μην μείνουν εδαφικοί κόκκοι στην πλάκα, επανασφραγίζεται η συσκευή και εφαρμόζεται η επόμενη τιμή θετικής πίεσης, Επαναλαμβάνεται η διαδικασία μέχρι εξαντλήσεως των δειγμάτων με τελευταία τιμή εφαρμοζόμενης θετικής πίεσης τις 15 Atm. Κάθε δείγμα που αφαιρείται ζυγίζεται (m_o) τοποθετείται σε φούρνο ξήρανσης και αφήνεται για 24 h σε 105°C. Ακολούθως ζυγίζεται ξανά (m_σ) και υπολογίζεται η υγρασία κατά μάζα του δείγματος (Θ_m) από τον τύπο:

$$\Theta_m = \frac{m_o - m_\sigma}{m_\sigma} = \frac{m_{Νερού}}{m_\sigma} \quad (1)$$

Η φαινόμενη πυκνότητα των δειγμάτων υπολογίζεται από τον τύπο:

$$\rho_\phi = \frac{m_\sigma}{V_{ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ}} \quad (2)$$

Με συνδυασμό των (1) και (2) παίρνουμε την υγρασία κατ' όγκο από τον τύπο:

$$\Theta_V = \Theta_m * \frac{\rho_\phi}{\rho_{νερού}} \quad (3)$$

Έτσι καταλήγουμε κάθε φορά σε ζεύγη τιμών πίεσης υγρασίας κατ' όγκο και τέλος έχουμε την ΧΚΥ

2.7.Διαδικασία προσδιορισμού της ΧΚΥ με την νέα μεθοδολογία

Αρχικά βαθμονομείται η διηλεκτρική συσκευή για το συγκεκριμένο αδιατάρακτο εδαφικό δείγμα, ακολουθώντας τη διαδικασία βαθμονόμησης πολλών σημείων (Theta probe Soil Moisture Sencor, Type ML2x, User manual, 1999). Κορένεται από κάτω προς τα επάνω το εδαφικό δείγμα και ακολούθως αφήνεται να στραγγίσει. Κατά τη διαδικασία στράγγισης και ανά τακτά διαστήματα ζυγίζεται το δείγμα και συγχρόνως μετράται η ένδειξη του οργάνου σε *mV* ρεύματος. Υπολογίζεται ηρίζα της διηλεκτρικής σταθεράς με τον ακόλουθο τύπο:

$$\sqrt{\varepsilon} = 1.07 + 6.4V - 6.4V^2 + 4.7V^3 \quad (4)$$

Επίσης από τη διαφορά της κάθε ζύγισης και από τη γνώση της φαινόμενης πυκνότητας προσδιορίζεται η κατ' όγκο υγρασία.

Ακολούθως συσχετίζεται διαγραμματικά η ρίζα της διηλεκτρικής σταθεράς με την υπολογισμένη κατ' όγκο υγρασία και από την προσαρμοζόμενη ευθεία προσδιορίζεται τα a_o (σημείο τομής ευθείας με yy΄) και a_1 (κλίση της ευθείας). Οι τιμές αυτές αντικαθίστανται στην εξίσωση που ακολουθεί και κατ' αυτό τον τρόπο υπολογίζεται η κατ' όγκο υγρασία του δείγματος.

$$\Theta_V = \frac{\sqrt{\varepsilon} - \alpha_0}{\alpha_1} \quad (5)$$

Στη συνέχεια η πλάκα με το δείγμα και τη διηλεκτρική συσκευή τοποθετείται στην Richard's (εικόνα 8) και την σφραγίζεται. Συνδέεται εξωτερικά ο μετρητής (εικόνα 8) και αρχίζει η εφαρμογή προαποφασισμένων τιμών θετικής πίεσης. Παρακολουθούνται μέσω του μετρητή τιμές τάσης-υγρασίας για κάθε τιμή εφαρμοζόμενης θετικής πίεσης μέχρι αυτές να σταθεροποιηθούν για περισσότερο από 48 ώρες. Έτσι προσδιορίζονται ζεύγη τιμών υγρασίας πίεσης και συνεπώς η ΧΚΥ του δείγματος.

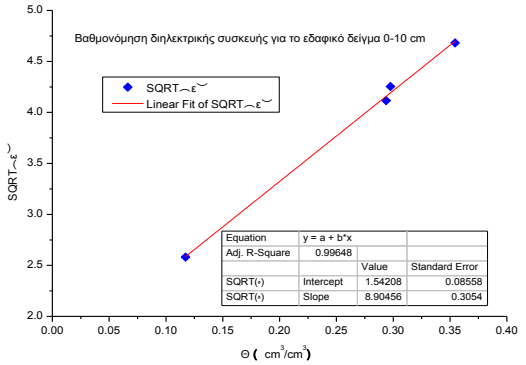
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

3.1. Βαθμονόμηση διηλεκτρικής συσκευής

Στους πίνακες που ακολουθούν εμφανίζεται η βαθμονόμηση της διηλεκτρικής συσκευής (ML2) για τα δύο δείγματα ώστε να προκύψουν τα a_0 και a_1 της εξισώσεως (5)

Πίνακας 1. Βαθμονόμηση (δείγμα 0-10cm)

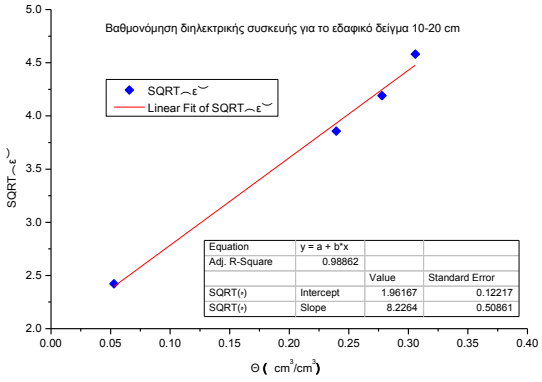
ΜΕΤΡΗΣΗ (mV)	√ε	M_Y (Υγρό)	$M_Ξ$ (Ξηρό)	$M_{νερού}$	$Θ_m$	$ρ_φ$	$Θ_V$
0.8338	4.681	1026.80	859.8	167.00	0.1942	1.825	0.3544
0.750	4.254	1000.00		140.20	0.1631		0.2975
0.720	4.116	998.20		138.40	0.1610		0.2937
0.311	2.581	915.00		55.20	0.0642		0.1171



Σχήμα 1. Συσχέτιση ρίζας διηλεκτρικής σταθεράς και υγρασίας για το δείγμα 0-10 cm

Πίνακας 2 Βαθμονόμηση (δείγμα 10-20 cm)

ΜΕΤΡΗΣΗ (mV)	√ε	M_Y (Υγρό)	$M_Ξ$ (Ξηρό)	$M_{νερού}$	$Θ_m$	$ρ_φ$	$Θ_V$
0.8155	4.582	1038.90	894.8	144.10	0.1610	1.899	0.3058
0.737	4.190	1025.70		130.90	0.1463		0.2778
0.660	3.857	1007.60		112.80	0.1261		0.2394
0.2695	2.422	919.70		24.90	0.0278		0.0528



Σχήμα 2. Συσχέτιση ρίζας διηλεκτρικής σταθεράς και υγρασίας για το δείγμα 0-10 cm

Πίνακας 3. Συγκριτική παρουσίαση των a_0 & a_1

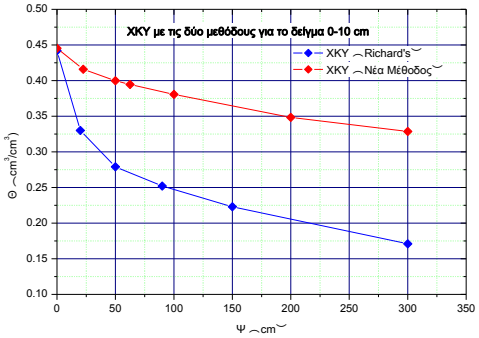
	a_0	a_1
0-10 cm	1.54	8.90
10-20 cm	1.96	8.22

3.2. Προσδιορισμός ζευγών τιμών της ΧΚΥ και σύγκριση των δύο μεθόδων

Μετά τη βαθμονόμηση του διηλεκτρικού αισθητήρα, προσδιορίσθηκαν οι ΧΚΥ των δύο δειγμάτων (0-10 και 10-20 cm βάθος) με τη νέα μέθοδο και ακολούθως με την κλασική μέθοδο Richard's. Ακολουθούν πίνακες και διαγράμματα με τη συγκριτική παρουσίαση των αποτελεσμάτων.

Πίνακας 4. Παρουσίαση των ΧΚΥ για το δείγμα 0-10 cm με τις δύο μεθόδους

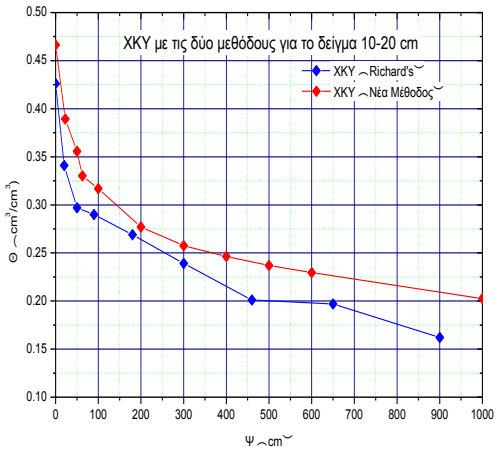
Richard's		Νέα Μέθοδος	
Ψ (cm)	Θv (cm3/cm3)	Ψ (cm)	Θv (cm3/cm3)
0	0.442	0	0.4454
20	0.33	22.5	0.4160
50	0.279	50	0.3997
90	0.252	62.5	0.3945
150	0.223	100	0.3807
300	0.171	200	0.3483
		300	0.3286



Σχήμα 3. Συσχέτιση ΧΚΥ για το δείγμα 0-10 cm

Πίνακας 5. Παρουσίαση των ΧΚΥ για το δείγμα 10-20 cm με τις δύο μεθόδους

Richard's		Νέα Μέθοδος	
Ψ (cm)	Θv (cm3/cm3)	Ψ (cm)	Θv (cm3/cm3)
0	0.426	0	0.4663
20	0.341	22.5	0.3894
50	0.297	50	0.3556
90	0.29	62.5	0.3302
180	0.269	100	0.3169
300	0.239	200	0.2770
460	0.201	300	0.2575
650	0.197	400	0.2464
900	0.162	500	0.2369
		600	0.2296
		1000	0.2024

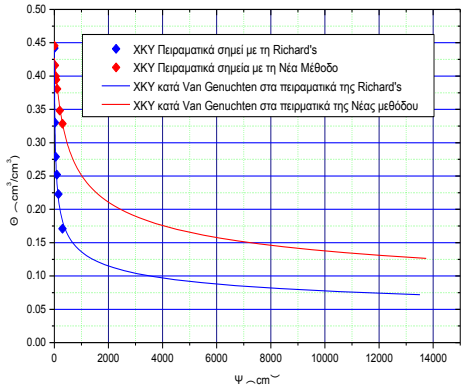


Σχήμα 4. ΧΚΥ για το δείγμα 10-20 cm

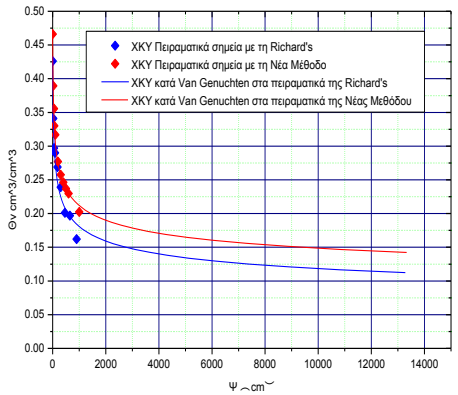
Στη συνέχεια με τη χρήση του προγράμματος RETC (Van Genuchten, et al. 1991) προσαρμόστηκαν καμπύλες στα πειραματικά δεδομένα και προσδιορίστηκαν τα *α* και *n* που είναι οι συντελεστές του μοντέλου Van Genuchten.

Πίνακας 6. Συγκριτική παρουσίαση των συντελεστών α και n κατά van Genuchten για τα δύο δείγματα και τις δύο μεθόδους

	Δείγμα 0-10		Δείγμα 10-20	
	Richar's	Νέα μέθοδος	Richar's	Νέα μέθοδος
α	0.1206	0.00676	0.0993	0.11212
n	1.24506	1.26856	1.18468	1.18153



Σχήμα 5. Σύγκριση ΧΚΥ κατά Van Genuchten για το δείγμα 0-10 cm



Σχήμα 6. Σύγκριση ΧΚΥ κατά Van Genuchten για το δείγμα 10-20 cm

4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τεχνικά η προτεινόμενη νέα μέθοδος διαφέρει ως προς την κλασική μέθοδο Richard's κατά τα ακόλουθα:

Η εξισορρόπηση του δείγματος για κάθε εφαρμοζόμενη πίεση διαπιστώνεται από σταθεροποίηση της τιμής της διηλεκτρικής σταθεράς και όχι από το εάν έχει σταματήσει η εκροή νερού από την ειδική έξοδο κάτι που είναι δυσκολότερο να διαπιστωθεί σε μεγάλες πιέσεις όπου η εκροή είναι ελάχιστη. Η εξισορρόπηση γινόταν εντός περίπου 4-6 ημερών στα συγκεκριμένα δείγματα.

Η αδιάλειπτη εφαρμογή πίεσης εξασφαλίζει ότι δεν προκύπτουν ανακατανομές της υγρασίας εντός του δείγματος κάτι που στην κλασική μέθοδο Richard's περιορίζεται με το μικρό ύψος των δειγμάτων (1 cm) το οποίο όμως συγχρόνως δυσκολεύει την πλήρωση και το χειρισμό τους.

Ο όγκος εδάφους επί του οποίου μετράται η υγρασία στην κλασική μέθοδο Richard's είναι περίπου 16.6 cm3 (όγκος μεταλλικού δακτυλίου) ενώ με τη νέα μέθοδο είναι 75 cm3. (Theta probe Soil Moisture Sencor Type ML2x, User manual, 1999.)

Η προτεινόμενη μέθοδος με την χρήση του διηλεκτρικού αισθητήρα παρουσιάζει το πλεονέκτημα της απαλλαγής από την κουραστική εργασία των συνεχών ζυγίσεων των δειγμάτων για των προσδιορισμό της ΧΚΥ.

Επίσης και στις δύο περιπτώσεις παρατηρείται ότι οι τιμές υγρασίας των αδιατάρακτων δειγμάτων είναι μεγαλύτερες από τις αντίστοιχες υγρασίες των διαταραγμένων για τις ίδιες τιμές πίεσης. Η διαφορά αυτή θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως σημαντική στο επιφανειακό δείγμα εδάφους όπως φαίνεται στον πίνακα 9 όπου εξετάζεται η τιμή της υγρασίας των δύο ΧΚΥ στην πίεση -1,0 bar:

Πίνακας 7. Διαφορά μετρούμενης υγρασίας για ίδια τιμή αρνητικής πίεσης με τις δύο μεθόδους στα δύο δείγματα για άρδευση πορτοκαλιάς

Δείγματα	Πίεσης εφαρμογής άρδευσης	Θ από ΧΚΥ με Richard's	Θ από ΧΚΥ με Νέα Μέθοδο	Διαφορά
0-10 cm	-1,0 bar	0,14	0,25	0,11
10-20 cm	-1,0 bar	0,17	0,21	0,04

Συγχρόνως οι συντελεστές *α* (Van Genuchten) των δύο δειγμάτων υποδεικνύουν ότι στα αδιατάρακτα δείγματα η ζώνη εισόδου αέρα είναι ευρύτερη έναντι των διαταραγμένων αφού $\alpha_{\text{ΝέαΜέθοδος}} < \alpha_{\text{Richard's}}$ και επίσης οι παραπλήσιες τιμές του *n* υποδηλώνουν ότι η κλίση των δύο καμπυλών είναι ίδια (Radcliffe and Simunek, 2010). Από αυτά συμπεραίνεται διαφορετική κατανομή πόρων μεταξύ αδιατάρακτων και διαταραγμένων δειγμάτων, χωρίς να μπορεί να αποκλείστεί και ενδεχόμενο λάθους κατά τη διάρκεια της βαθμονόμησης.

Εκτίμησή μας είναι ότι η προτεινόμενη μεθοδολογία έχει σημαντικά προτερήματα (χρόνος, κόπος, συνεχείς μετρήσεις κ.λ.π.) και πρέπει να τύχει περαιτέρω διερεύνησης.

Ευχαριστίες

Στο ΥΑΑ&Τ καθώς και στην Ν.Α. Λακωνίας γιατί ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε αποκτήθηκε με χρηματοδότησή τους.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Van Genucten Th. M.1980a. A closed form equation on predicting of unsaturated soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 44:892-898

Radcliffe D. and Simunek J., 2010.

a. RETC PROGRAM in the Soil Physics with Hydrus, Modeling and Applications. CRC Press, pp.73-79

b. Soil Water Retention Curve Equations in the Soil Physics with Hydrus, Modeling and Applications. CRC Press, pp.65-67

Munioz-Carpena R., Ritter A and Bosch D., 2005, Ffield Merthods for monitoring Soil Water Status in Alvarez-Benedi J. And Munioz-Carpena R. (editors) Soil Water Solute Process Characterization, An intergrated Aproach, CRC Press, pp 168-193

Klute A. 2006. Water retention: Laboratory methods in Klute A. (editor) Methods of Soil Analysis Part 1- Physical and Mineralogical Methods, 2nd Ed., SSSA Book Series 5 pp.635-656

Theta probe Soil Moisture Sencor Type ML2x, User manual, 1999. Delta-T Devices

Van Genuchten M. Th., Simunek J, Leij F. J. and Yates S. R.. The RETC Code for Quantifying the Hydraulic Functions of Unsaturated Soils 1991, US EPA ADA Oclahoma

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΠΑΡΟΧΗΣ ΑΡΔΕΥΤΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΜΕ ΤΗ ΒΟΗΘΕΙΑ ΑΣΑΦΩΝ ΚΑΝΟΝΩΝ

Χ. Τζιμόπουλος
Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, Πολυτεχνική Σχολή, Α.Π.Θ., 54124, Θεσσαλονίκη
tzimop@eng.auth.gr

Τα συστήματα ασαφών κανόνων γνωστά επίσης και ως ασαφή επαγωγικά συστήματα (fuzzy inference systems, FIS), ή βάση ασαφών κανόνων (fuzzy rule base, FRB) κλπ, βρίσκουν εφαρμογή σε πολλά πεδία επιστημών, όπως την ιατρική, την φυσική και στις επιστήμες του μηχανικού. Ένα ασαφές σύστημα R ορίζεται ως το σύνολο των κανόνων που αποτελείται από ασαφείς υποθέσεις (ή προϋποθέσεις) $A_{i,k}$ (fuzzy premises) με τη μορφή ασαφών συνόλων με συναρτήσεις συμμετοχής $\mu_{Ai,k}$ και ένα σύνολο ασαφών αποκρίσεων $B_{i,k}$ (responses) επίσης με τη μορφή ασαφών συνόλων και αποτελεί μια εφαρμογή της συνεπαγωγής της μαθηματικής λογικής σε ασαφείς αριθμούς. Στην παρούσα εργασία επιχειρείται η κατασκευή ενός νέου μοντέλου με τη βοήθεια της ασαφούς λογικής για τον υπολογισμό της παροχής στην κεφαλή του αρδευτικού δικτύου. Το μοντέλο αυτό έχει σαν υποθέσεις 3 συναρτήσεις συμμετοχής που παριστάνουν τα ανοικτά υδροστόμια που λειτουργούν στο Αρδευτικό δίκτυο (μικρός αριθμός υδροστομίων, μεσαίος αριθμός υδροστομίων, μεγάλος αριθμός υδροστομίων) και ως αποκρίσεις επίσης 3 συναρτήσεις συμμετοχής που παριστάνουν τις αποδόσεις των αντλιών συναρτήσει του αριθμού των υδροστομίων. Ως τελικό αποτέλεσμα του μοντέλου για δεδομένο αριθμό υδροστομίων εν λειτουργία, προκύπτει η απόδοση του αντλητικού συγκροτήματος και η παροχή κεφαλής.

*Λέξεις κλειδιά:*Αρδευτικά δίκτυα,μέθοδος Clément, παροχή αντλιοστασίου, ασαφή συστήματα.

DESIGN DISCHARGE OF A PRESSURE IRRIGATION NETWORK USING FUZZY RULES

C. Tzimopoulos,
Aristotle University of Thessaloniki, School of Rural & Surveying Engineering, Faculty of Engineering, A.U.TH., Thessaloniki 54124, Greece
tzimop@eng.auth.gr

The flow on-demand in pressure irrigation networks has a probabilistic approach, originally developed by Clément. This approach fails to give sufficient answer for cases the number of farmers exceeds the number of open hydrants. Here we propose a new model based on fuzzy rules base, which can give satisfactory results for the above case. Fuzzy rules base is one of the most succefull of fuzzy logic theory, since they capture real world's inaccurate and approximate structure. In the new model three membership functions presenting the number of hydrants were used as fuzzy premises and as fuzzy responses three other membership functions were used, presenting the efficiency of pumping station. So for a given number of farmers N_1 exceeding the number N of open hydrants, we can estimate the efficiency of pumping station and the reduced discharge.

Key words: pressure irrigation networks, Clément method, pumping station disharge, fuzzy rules.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα αρδευτικά έργα αποτελούν ένα σύνολο εγκαταστάσεων-συσκευών και οργάνων που έχουν σαν τελικό στόχο τη χορήγηση νερού στις καλλιέργειες. Ένα τυπικό αρδευτικό δίκτυο εν συντομία αποτελείται από τα εξής στοιχεία: 1) Έργα και εγκαταστάσεις συλλογής και αποθήκευσης του νερού-Αντλιοστάσιο. 2) Δίκτυο σωληνωτών αγωγών μεταφοράς και διανομής του αρδευτικού νερού. 3) Σύστημα άρδευσης ή σύστημα εφαρμογής του νερού στο έδαφος. Τα συστήματα άρδευσης, είναι αυτά με τα οποία γίνεται απευθείας χορήγηση αρδευτικού νερού στα καλλιεργούμενα εδάφη. Υπάρχουν τέσσερις μέθοδοι άρδευσης: 1) Η επιφανειακή άρδευση. 2) Η υπάρδευση. 3) Η άρδευση με καταιονισμό ή τεχνητή βροχή. 4) Η τοπική άρδευση ή άρδευση με σταγόνες. Η άρδευση με καταιονισμό ή τεχνητή βροχή με την οποία και θα ασχοληθούμε, αποτελεί την πιο διαδεδομένη σήμερα μέθοδο άρδευσης. Με αυτήν επιτυγχάνεται η άρδευση μεγάλων εκτάσεων που η τροφοδοσία τους με νερό γίνεται μέσα από ένα κοινό σύστημα αγωγών μεταφοράς και διανομής. Βρίσκει εφαρμογή στα συλλογικά αρδευτικά δίκτυα υπό πίεση που άρχισαν να εφαρμόζονται με μεγάλη επιτυχία στην Ελλάδα από το 1967. Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται επίσης και στις περιπτώσεις ατομικών αρδευτικών δικτύων με καταιονισμό που χρησιμοποιούνται σε αυτοτελείς αρδευτικές μονάδες με ιδιαίτερη ανεξάρτητη εγκατάσταση τροφοδοσίας νερού(Τζιμόπουλος, 1982). Ανεξαρτήτως της πηγής από την οποία λαμβάνεται το νερό, για την ομαλή λειτουργία του συστήματος, απαιτείται συνήθως ένα αντλιοστάσιο στην κεφαλή του αρδευτικού δικτύου. Οι αγωγοί διανομής του νερού καταλήγουν σε υδροληψίες με υδροστόμια σε κάθε αγροτεμάχιο, όπου και συνδέονται οι αυτοτελείς αρδευτικές μονάδες με τους εκτοξευτήρες για την άρδευση των αγροτεμαχίων. Η κατανομή της παροχής στα υδροστόμια γίνεται με ελεύθερη ζήτηση και έτσι παρέχονται στους καλλιεργητές σημαντικά πλεονεκτήματα: 1) Δίνεται η ελευθερία στον αγρότη να διαθέσει το νερό με μία περιορισμένη παροχή οποιαδήποτε ώρα του 24ωρου. 2) Ο αγρότης καθορίζει μόνος του την ημέρα και τη διάρκεια της άρδευσης, ανάλογα και με τις ανάγκες των φυτών. 3) Το νερό που ξοδεύει ο

καλλιεργητής θα πρέπει να πληρώνεται με βάση τα κυβικά μέτρα νερού που κατανάλωσε.

Ο αριθμός των ανοικτών υδροστομίων στην κεφαλή ενός αρδευτικού δικτύου καθορίζεται με ένα πιθανοθεωρητικό μοντέλο του Clément, (Clément, 1955, Clément, 1966):

$$N = Rp + U(F(x))\sqrt{Rpq}. \qquad (1)$$

Αυτός είναι ο α΄ τύπος της ελεύθερης ζήτησης του Clément και δίνει τον αριθμό των υδροστομίων N τα οποία θεωρούνται ταυτόχρονα ανοιχτά για να υπάρχει μία ποιότητα λειτουργίας F(x) (ή ένας συντελεστής ποιότητας λειτουργίας U(F(x)). Στον παραπάνω τύπο του Clément είναι: $p = \frac{q_0 S}{rRd}$ =η πιθανότητα λειτουργίας ενός υδροστομίου, q=1-p, R=ο συνολικός αριθμός των εγκατεστημένων υδροστομίων, F(x)= η ποιότητα λειτουργίας του δικτύου , U(F(x))= συντελεστής ποιότητας λειτουργίας του δικτύου που παρέχεται από πίνακες της κανονικής κατανομής. Επίσης στον τύπο που εκφράζει την πιθανότητα λειτουργίας ενός υδροστομίου είναι: q_0 =η θεωρητική ειδική παροχή άρδευσης για το μήνα αιχμής (L/s/στρ.), S= η αρδευόμενη επιφάνεια από το υδροστόμιο (στρ.), r =η απόδοση χρονικής χρησιμοποίησης του δικτύου, d=η μέση παροχή κάθε στομίου υδροληψίας (L/s). Με βάση τον παραπάνω τύπο που παρέχει σε ένα δίκτυο τον αριθμό των ανοικτών υδροστομίων N, η παροχή για να λειτουργούν ταυτόχρονα τα N υδροστόμια είναι:

$$Q = Nd = Rpd + U(F(x))d\sqrt{Rpq}\ , \text{(L/s)}.$$

Ως προς την ποιότητα λειτουργίας του δικτύου F(x), μία τιμή της τάξεως του 95% σημαίνει ότι σε N καλλιεργητές που μεταβαίνουν στο δίκτυο ένα ποσοστό 5% εξ αυτών, δεν θα μπορέσει να εξυπηρετηθεί. Βεβαίως κάτι τέτοιο δεν ισχύει ακριβώς, γιατί στην πραγματικότητα αυτό που θα συμβεί είναι ότι απλώς παρέχεται στον κάθε καλλιεργητή λιγότερη ποσότητα νερού, με επακόλουθο μικρότερη πίεση. Αυτό συμβαίνει γιατί αυτό το έλλειμμα νερού που εμφανίζεται, μοιράζεται σε όλους τους χρήστες.

Ο πιθανοθεωρητικός λοιπόν τύπος του Clément αδυνατεί να δώσει σαφή απάντηση σε περιπτώσεις κατά τις οποίες ο αριθμός των καλλιεργητών στο αρδευτικό δίκτυο είτε είναι ίσος με N, είτε υπερβαίνει την τιμή N των ανοικτών υδροστομίων, παρόλο που τέτοιες περιπτώσεις συχνά συμβαίνουν. Στο παραπάνω πρόβλημα θα προσπαθήσουμε να δώσουμε μια απάντηση με βάση ένα μοντέλο που μελετήθηκε με τη βοήθεια της ασαφούς λογικής και πιο συγκεκριμένα με τη βοήθεια των ασαφών κανόνων.

2. ΑΣΑΦΕΙΣ ΚΑΝΟΝΕΣ

2.1 ΑΣΑΦΗΣ ΛΟΓΙΚΗ

Η μέθοδος της ασαφούς λογικής έχει εισαχθεί, για να καλύψει το χάσμα, μεταξύ της ανθρώπινης λογικής και της «επιστημονικής» λογικής. Η πρώτη είναι ασαφής, περιγραφική, γλωσσολογική, ενώ η δεύτερη είναι ακριβής, μαθηματική, αυστηρή και άκαμπτη. Οι επιστήμονες, ακολουθούν την δεύτερη προσέγγιση, δηλαδή την επιστημονική λογική, ενώ η πρώτη δηλαδή η ανθρώπινη λογική, είναι πιο κοντά στην ανθρώπινη γλώσσα και διαίσθηση και κατά συνέπεια είναι καλύτερα προσαρμοσμένη σε διαδικασίες λήψης αποφάσεων. Το κεντρικό νόημα της ασαφούς λογικής (fuzzy logic) είναι ότι η τιμή της αλήθειας στην προσεγγιστική λογική ή ο **βαθμός συμμετοχής** σε ένα προσεγγιστικό σύνολο, αποδίδεται με μια τιμή του πεδίου πραγματικών αριθμών [0, 1]. Η τιμή 0 δηλώνει ότι ένα στοιχείο δεν αποτελεί μέλος του συνόλου και η τιμή 1 ότι αποτελεί πλήρως μέλος του συνόλου. Αντίστοιχα, μια τιμή για ένα στοιχείο κοντά στο 0, εκφράζει σε **μικρό ποσοστό** τα χαρακτηριστικά του μέλους ενός συνόλου, ενώ για τιμές κοντά στο 1, το στοιχείο εκφράζει σε **μεγάλο ποσοστό** τα χαρακτηριστικά μέλους του συνόλου. Ένα ασαφές σύνολο $\tilde{A}$ υποσύνολο ενός γενικού συνόλου αναφοράς X, είναι ένα σύνολο διατεταγμένων ζευγών, x και $\mu_{\tilde{A}}(x)$,(Zadeh, 1965): $\tilde{A} = \{(x, \mu_{\tilde{A}}(x)) | x \in X\}$, όπου $\mu_{\tilde{A}}(x)$ είναι η ***συνάρτηση συμμετοχής*** (membership function), η οποία εκφράζει για το στοιχείο x τον βαθμό(ποσοστό) συμμετοχής του στοιχείου ή τον βαθμό αλήθειας ως προς το ασαφές σύνολο (Fuzzy set) $\tilde{A}$. Συνήθως ως συνάρτηση συμμετοχής λαμβάνεται ένας τριγωνικός ή τραπεζοειδής αριθμός. Ένας τριγωνικός ασαφής αριθμός $\tilde{A} = (a, b, c)$, έχει συνάρτηση συμμετοχής ως εξής:

$$\mu_{\tilde{A}(x)} = \begin{cases} 0 & x < a, \\ (a+x)/(a+b) & a \le x \le b, \\ (c-x)/(c-b) & b \le x \le c, \\ 0 & x > c. \end{cases} \qquad (3)$$

2.2 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΣΑΦΩΝ ΚΑΝΟΝΩΝ

Τα συστήματα ασαφών κανόνων είναι επίσης γνωστά και ως ασαφή επαγωγικά συστήματα (fuzzy inference systems), ασαφή μοντέλα (fuzzy models), ασαφείς συσχετισμένες μνήμες (fuzzy associative memories, FAM), βάση ασαφών κανόνων (fuzzy rules base, FRB) κτλ (Bárdossy and Duckstein, 1995). Εφεξής θα χρησιμοποιηθεί ο ορισμός «μοντέλα της βάσης ασαφών κανόνων, FRB». Τα μοντέλα αυτά βρίσκουν εφαρμογή σε πολλά πεδία επιστημών, όπως την ιατρική, την φυσική και στις επιστήμες του μηχανικού. Αποτελούν μία από τις πιο επιτυχημένες εφαρμογές της ασαφούς λογικής και των ασαφών συνόλων, καθώς μπορούν και συλλαμβάνουν την προσεγγιστική και ανακριβή φύση του πραγματικού κόσμου. Στα μοντέλα της βάσης ασαφών κανόνων οι σχέσεις μεταξύ των μεταβλητών περιγράφονται λεκτικά και όχι χρησιμοποιώντας γνωστές μαθηματικές σχέσεις. Για την μαθηματικοποίηση των λεκτικών αυτών μεταβλητών χρησιμοποιούνται τα ασαφή σύνολα.

Στην ***συμβατική μαθηματική λογική*** οι συμβατικοί κανόνες αποτελούνται από μια συνθήκη και ένα αποτέλεσμα, συνθέτοντας μια λογική έκφραση. Αν οι συνθήκες του κανόνα ικανοποιούνται απολύτως, τότε αυτός είναι αληθής. Η διαφορά στα ***συστήματα ασαφών κανόνων*** είναι ότι οι υποθέσεις του κανόνα είναι δυνατόν να ικανοποιούνται σε μερικό βαθμό, οπότε και ο κανόνας έχει μερική ισχύ. Ένα απλό παράδειγμα κανόνα αυτής της μορφής είναι το ακόλουθο: *«Εάν η θερμοκρασία είναι υψηλή τότε η κατανάλωση του νερού είναι υψηλή»*. Ο όρος *«υψηλή»*, αποτελεί μια ποσότητα η οποία δεν είναι εύκολο να προσδιοριστεί. Θερμοκρασίες από 30°C και πάνω μπορούν να θεωρηθούν υψηλές, όχι όμως όλες στον ίδιο βαθμό. Υπάρχει ένα εύρος τιμών, το οποίο ανήκει μεν στο ασαφές σύνολο *«υψηλή θερμοκρασία»*, αλλά σε διαφορετικό βαθμό για κάθε μία τιμή. Αντιστοίχως η ποσότητα *«υψηλή κατανάλωση»* δεν παίρνει μία και μοναδική τιμή. Συνεπώς οι ασαφείς κανόνες είναι δυνατόν να λάβουν υπόψη ανακριβείς ποσοτικές πληροφορίες στην τελική λήψη της απόφασης.

Η εφαρμογή της βάσης ασαφών κανόνων στη λήψη αποφάσεων είναι απόρροια του γεγονότος ότι η ανθρώπινη λογική βασίζεται σε εκφράσεις της Μαθηματικής λογικής «εάν→τότε, (συνεπαγωγή)». Το «εάν» αποτελεί ένα διάνυσμα επεξηγηματικών μεταβλητών ή ασαφών υποθέσεων και το «τότε» το διάνυσμα με τα ασαφή αποτελέσματα ή αποκρίσεις. Οι ασαφείς κανόνες αποτελούν το μέσον για τη μετατροπή της παραπάνω λεκτικής έκφρασης σε μια υπολογιστικά εφικτή μορφή. Η απλότητα των ασαφών συστημάτων προκύπτει από το γεγονός ότι ο τρόπος λειτουργίας τους προσομοιάζει στον ανθρώπινο τρόπο σκέψης.

Στην ***συμβατική μαθηματική λογική*** ένας κανόνας αποτελεί μια λειτουργία που διατυπώνεται με εκφράσεις, συνδεδεμένες μεταξύ τους με λογικούς τελεστές, ώστε να συνθέτουν μια λογική έκφραση και έτσι να προκύπτει κάποιο αποτέλεσμα. Αν ικανοποιούνται οι συνθήκες ενός κανόνα τότε το ίδιο ισχύει και για το αποτέλεσμα. Στην ***ασαφή μαθηματική λογική*** κάθε ασαφής κανόνας οδηγεί επαγωγικά σε κάποιο συμπέρασμα που είναι ανάλογο με τον βαθμό ισχύος της υπόθεσης.

Ένα ασαφές σύστημα R ορίζεται ως το σύνολο των κανόνων που αποτελείται από ασαφείς υποθέσεις $A_{i,k}$ (fuzzy premises) με τη μορφή ασαφών συνόλων με συναρτήσεις συμμετοχής $\mu_{Ai,k}$ και ένα σύνολο ασαφών αποκρίσεων $B_{i,k}$ (responses) επίσης με τη μορφή ασαφών συνόλων (Tzimopoulos and Mpallas, 2007, Tzimopoulos et al , 2008, Tzimopoulos et al ,2008):

$$If\ a_1\ is\ A_{i,1} \otimes ..... \otimes a_K\ is\ A_{i,K}\ then\ B_i\ . \quad (4)$$

Όλοι οι κανόνες σε ένα σύστημα χρησιμοποιούν τις ίδιες μεταβλητές ως υποθέσεις και την ίδια μεταβλητή ως απόκριση. Ένας ασαφής κανόνας αποτελείται από λεκτικούς όρους οι οποίοι συνδέονται μεταξύ τους με όρους της μορφής «ΕΑΝ-ΤΟΤΕ, (IF-THEN, συνεπαγωγή)», όπου το «ΕΑΝ» αποτελεί το διάνυσμα των ασαφών υποθέσεων και το «ΤΟΤΕ» το διάνυσμα των ασαφών αποκρίσεων. Στα ασαφή συστήματα κανόνων ισχύει η μερική ικανοποίηση ενός κανόνα (Μπαλλάς, 2007).

Οι ασαφείς υποθέσεις είναι οι μεταβλητές εκείνες οι οποίες λειτουργούν ως «επεξηγηματικές» για να δώσουν το αποτέλεσμα, που είναι η απόκριση του κανόνα. Οι ασαφείς υποθέσεις και αποκρίσεις περιγράφονται συνήθως με τη βοήθεια λεκτικών μεταβλητών και συνδέονται μεταξύ τους με τη βοήθεια τελεστών,οι οποίοι απεικονίζονται με το σύμβολο $\otimes$ στο παραπάνω γενικό παράδειγμα. (Το σύμβολο $\otimes$ αποτελεί συνήθως ένα σύνδεσμο διάζευξης **ή** (OR, disjunction, V) ή ένα σύνδεσμο σύζευξης **και** (AND, conjunction, Λ). Οι λεκτικές αυτές μεταβλητές λειτουργούν ως «τίτλοι» στα ασαφή σύνολα και είναι έτσι δυνατή η μετάφραση της ανακριβούς λεκτικής πληροφορίας σε ασαφή σύνολα, τα οποία είναι δυνατόν να υποστούν υπολογιστική επεξεργασία. Κατά συνέπεια και οι κανόνες γίνονται εύκολα κατανοητοί απλώς και μόνο διαβάζοντάς τους. Ένα σύστημα ασαφών κανόνων αποτελείται από λεκτικούς κανόνες που αντιστοιχίζουν τις συναρτήσεις συμμετοχής των ασαφών υποθέσεων με τις συναρτήσεις συμμετοχής των ασαφών αποκρίσεων. Οι ασαφείς υποθέσεις μετατρέπονται σε έναν αριθμό που παίρνει τιμές μεταξύ 0 και 1 και δείχνει το ποσοστό ισχύος της απόκρισης Β, δηλαδή στην ασαφή λογική ένας κανόνας μπορεί να είναι αληθής αλλά σε μερικό βαθμό στο διάστημα [0,1], (Τζιμόπουλος και Μπαλλάς, 2006, Τζιμόπουλος και Μπαλλάς ,2007α, Τζιμόπουλος και Μπαλλάς, 2007α,β).

3. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΕ ΑΡΔΕΥΤΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ

Δίνεται ένα αρδευτικό δίκτυο με 100 υδροστόμια το οποίο υδροδοτείται από ένα αντλιοστάσιο με τρείς αντλίες. Η απόδοση του αντλιοστασίου κυμαίνεται από 0%(κλειστές όλες οι αντλίες), μέχρι 100%(ανοικτές όλες οι αντλίες, Q=420L/s, όταν λειτουργούν ανοικτά τα 60 υδροστόμια του δικτύου, με παροχή κάθε υδροστομίου 7L/s). Το δίκτυο έχει υπολογιστεί για να παρέχει 4 at στα υδροστόμια των υδροληψιών, όταν λειτουργούν ανοικτά τα 60 υδροστόμια. Ζητείται η απόδοση του δικτύου όταν λειτουργούν ανοικτά τα 75 υδροστόμια. Το δίκτυο θεωρείται ως αποτελούμενο από τρεις τριγωνικούς ασαφείς αριθμούς που έχουν ως εξής:

$\tilde{A}_1 =$ (50/60/70) =Κανονικός αριθμός ανοικτών υδροστομίων,

$\tilde{A}_2 =$ (60/70/80) =Μεγάλος αριθμός ανοικτών υδροστομίων,

$\tilde{A}_3 =$ (70/90/100)=Μέγιστος αριθμός ανοικτών υδροστομίων.

Η απόδοση του αντλιοστασίου θεωρείται ως ανάλογη της πίεσης και χαρακτηρίζεται επίσης από τρεις τριγωνικούς ασαφείς αριθμούς που έχουν ως εξής:

$\tilde{B}_1 =$ (50%/60%/70%) = Χαμηλή απόδοση,

$\tilde{B}_2 =$ (60%/70%/80%) =Μέση απόδοση,

$\tilde{B}_3$ = (70%/90%/100%) =Υψηλή απόδοση.

Το όλο σύστημα σχεδιάζεται ως εξής:

1ος κανόνας: IF (Κανονικός αριθμός ανοικτών υδροστομίων) THEN(Υψηλή απόδοση),

2ος κανόνας: IF (Μεγάλος αριθμός ανοικτών υδροστομίων) THEN (Μέση απόδοση),

3ος κανόνας: IF (Μέγιστος αριθμός ανοικτών υδροστομίων) THEN (Χαμηλή απόδοση) ή

1ος κανόνας: IF ($\tilde{A}_1$) THEN ($\tilde{B}_3$),

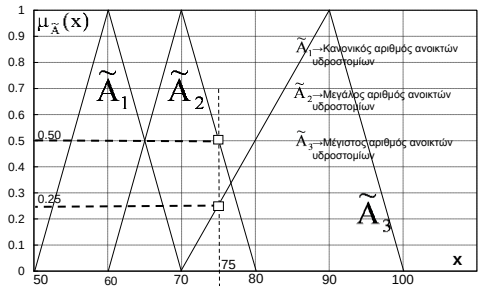
2ος κανόνας: IF ($\tilde{A}_2$)THEN ($\tilde{B}_2$),

3ος κανόνας: IF ($\tilde{A}_3$)THEN ($\tilde{B}_1$)

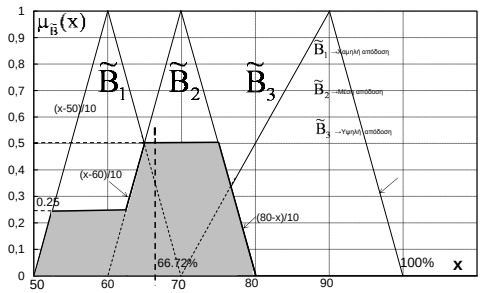
Θεωρούμε τώρα ότι στο αρδευτικό δίκτυο σε μια δεδομένη στιγμή λειτουργούν 75 υδροστόμια, δηλαδή η λειτουργία του δικτύου υπερβαίνει τα κανονικά υδροστόμια κατά 15. Στο σχ. 1 παρατηρούμε ότι η τετμημένη x=75 υδροστόμια τέμνει τους δύο ασαφείς αριθμούς, τον $\tilde{A}_2$ στο 0.5 (v_2=0.5) και τον $\tilde{A}_3$ στο 0.25(v_3=0.25). Η απόδοση του συστήματος θα είναι αντίστοιχα 0.5 στον $\tilde{B}_2$ (v_2=0.5) και 0.25 στον $\tilde{B}_1$ (v_1=0.25). Θεωρούμε ότι η ένωση αυτών γίνεται με τη μέθοδο των μεγίστων συνδυασμών με την ακραία τιμή όπως φαίνεται στο σχ.2. Προκύπτει λοιπόν ένας ασαφής αριθμός και για την αποσαφήνισή του εφαρμόζεται η μέθοδος του ασαφούς μέσου όρου-κέντρου βάρους (fuzzy mean-COG) που δίνεται από την εξίσωση:

$$b = M(\tilde{B}) = \frac{\sum \int_{-\infty}^{+\infty} t\mu_{\tilde{B}}(t)dt}{\sum \int_{-\infty}^{+\infty} \mu_{\tilde{B}}(t)dt}. \qquad (5)$$

Ο αριθμητής της έκφρασης αυτής αποτελεί το άθροισμα των ροπών όλων των τμημάτων της απόδοσης που μετέχουν στον κανόνα, ενώ ο παρονομαστής αποτελεί το εμβαδόν όλων των τμημάτων της απόδοσης που μετέχουν στον κανόνα.



Σχήμα 1. Παράσταση του αρδευτικού δικτύου



Σχήμα 2. Παράσταση του αντλιοστασίου

$$I_1 = \int_{50}^{52.5} 0.1t(t-50)dt + \int_{52.5}^{62.5} 0.25tdt + \int_{62.5}^{65} 0.1t(t-60)dt$$

$$I_2 = \int_{62.5}^{65} 0.25tdt + \int_{65}^{75} 0.5tdt + \int_{75}^{80} 0.1t(80-t)dt$$

$$L_1 = \int_{50}^{52.5} 0.1(t-50)dt + \int_{52.5}^{62.5} 0.25dt + \int_{62.5}^{65} 0.1(t-60)dt$$

$$L_2 = \int_{62.5}^{65} 0.25dt + \int_{65}^{75} 0.5dt + \int_{75}^{80} 0.1(80-t)dt$$

$$M(\tilde{B}) = (I_1 + I_2)/(L_1 + L_2) = 667.18/10 = 66.72\%$$

.

Επομένως η απόδοση του αντλιοστασίου είναι 66.72% , και η πίεση των υδροστομίων ανέρχεται σε ~P=2.67 at ενώ η παροχή τους θα είναι d=4.67L/s.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.

- Ο α΄τύπος του Clément αδυνατεί να δώσει απάντηση για τις περιπτώσεις όπου ο αριθμός των καλλιεργητών N_1 είναι μεγαλύτερος από τον αριθμό N των ανοικτών υδροστομίων που υπολογίστηκαν με τον τύπο αυτόν.
- Όταν συμβεί αυτό δεν σταματά η λειτουργία του δικτύου, αλλά το αντλιοστάσιο προσαρμόζεται στις απαιτήσεις του δικτύου μειώνοντας και την παροχή στην κεφαλή και στα υδροστόμια του δικτύου, αλλά επίσης και την πίεση.
- Το μοντέλο που αναπτύχτηκε με βάση τους ασαφείς κανόνες, δίνει ποσοτική απάντηση στα παραπάνω χαρακτηριστικά του δικτύου και κρίνεται απαραίτητο για τη σωστή διαχείριση του αρδευτικού δικτύου.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΕΛΛΗΝΙΚΗ

Μπαλλάς Λ., 2007, «*Διαχείριση υδατικών πόρων με τη βοήθεια ασαφών συστημάτων- Εφαρμογή στην υδρολογική λεκάνη Βόλβης*» , Διδακτορική Διατριβή, Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, σελ. 276.

Τζιμόπουλος Χ., 1982. «*Γεωργική υδραυλική- Συλλογικά αρδευτικά δίκτυα με καταιονισμό*», Τόμος ΙΙ, σελ. 263.

Τζιμόπουλος Χρ. και Μπαλλάς Λ. ,2006, «*Πρόβλεψη του δείγματος τιμών ενός βροχομετρικού σταθμού με ασαφή λογική*», 10ο Πανελλήνιο επιστημονικό συνέδριο της Ελληνικής Υδροτεχνικής Ένωσης (ΕΥΕ), «Διαχείριση Υδατικών Πόρων και Προστασία Περιβάλλοντος – Σύγχρονες Θεωρήσεις, Προβλήματα και Προοπτικές», Ξάνθη.

Τζιμόπουλος Χρ. και Μπαλλάς Λ. ,2007α, «*Προσομοίωση της διακύμανσης της στάθμης της λίμνης Βόλβης με εφαρμογή των ασαφών κανόνων*», 6ο Εθνικό Συνέδριο της ΕΕΔΥΠ, «Ολοκληρωμένη διαχείριση υδατικών πόρων με βάση τη λεκάνη απορροής», Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.

Τζιμόπουλος Χ. και Μπαλλάς Λ., 2007β, *«Συστήματα ασαφών κανόνων για τον υπολογισμό υδρογραφήματος εκροής»,* Περιοδικό Υδροτεχνικά, Ελληνική Υδροτεχνική Ένωση, Τόμος 17, σελ. 19-32.

ΞΕΝΟΓΛΩΣΗ

Bárdossy A., and Duckstein L., 1995. *Fuzzy rule-based modeling with applications to geophysical, biological and engineering systems.* CRC Press, Boca Raton, Fla, 232 pp.

Clément R., 1955, "*Le calcul des débits dans les canalisations d' irrigation*", Association Amicale des Ingénieurs du Genie Rural- Journées d' études sur l' irrigation, 27-30 Juin,France.

Clément R., 1966, "*Calcul des débits dans les reseaux d' irrigation fonctionnant à demande*", La Houille Blanche No 2, 159-164.

Tzimopoulos C. and Mpallas L., 2007, *"Extrapolating rainfall data using fuzzy rule- based modelling",* Global Network for Environmental Science and Technology (GNEST)-University of the Aegean, 10th International Conference on Environmental Science and Technology, Cos Island, Greece.

Tzimopoulos C., Mpallas L., Papaevangellou G. ,2008, *"Estimation of evapotranspiration using fuzzy rules and comparison with the Blaney-Criddle method*", Journal of environmental science and technology, 1 (4): 181-186.

Tzimopoulos C., Mpallas L., Evangelides C. ,2008, "*Fuzzy model comparison to extrapolate rainfall data*", Journal of environmental science and technology, 1 (4): 214-224.

Zadeh, L. , 1965, "*Fuzzy sets",* Information and Control, 8(3):338-353.

Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΑΛΑΤΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ ΣΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΤΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΠΟΡΩΔΩΝ ΜΕΣΩΝ ΜΕ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΔΙΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΣΥΣΚΕΥΗΣ

Κάργας Γ[1]., Ντούλας Ν[2]., Νεκτάριος Π[2]., Κλάδου Α.[1]
Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών
[1]Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής, Γ.Π.Α
[2]Τμήμα Επιστήμης Φυτικής Παραγωγής, Γ.Π.Α
Kargas@aua.gr

Στην παρούσα εργασία διερευνάται η επίδραση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους στον υπολογισμό της υγρασίας από τον διηλεκτρικό αισθητήρα TDR300 σε τρία πορώδη μέσα. Η διερεύνηση έγινε σε εύρος υγρασίας από την ξηρή κατάσταση μέχρι τον κορεσμό και σε διάφορα επίπεδα αλατότητας του εδαφικού διαλύματος. Από τα αποτελέσματα διαπιστώνεται ότι η σχέση της κατ' όγκο υγρασίας (θ) των πορωδών μέσων και της τετραγωνικής ρίζας της διηλεκτρικής σταθεράς (ε) μέχρι ένα επίπεδο της φαινόμενης ηλεκτρικής αγωγιμότητας (σ_b) (0.5 dS/m) είναι γραμμική. Συνέπεια αυτού είναι η ευκολότερη βαθμονόμησης του αισθητήρα αφού γι' αυτήν απαιτείται η γνώση δύο ζευγών τιμών της εδαφικής υγρασίας και της διηλεκτρικής σταθεράς. Συνήθως επιλέγονται οι τιμές στην ξηρή και κορεσμένη κατάσταση του πορώδους μέσου. Από τιμές της φαινόμενης ηλεκτρικής αγωγιμότητας μεγαλύτερες από 0.50 dS/m αποδεικνύεται ότι είναι καταλληλότερη η λογαριθμική σχέση μεταξύ της εδαφικής υγρασίας και της διηλεκτρικής σταθεράς. Η μεταβολή αυτή των σχέσεων για το ίδιο έδαφος οφείλεται στο γεγονός ότι η αυξημένη αλατότητα προκαλεί αύξηση του χρόνου μετάδοσης του ηλεκτρομαγνητικού κύματος. Έτσι για την ίδια περιεκτικότητα σε υγρασία αλλά κάτω από διαφορετικά επίπεδα αλατότητας ο χρόνος μετάδοσης του ηλεκτρομαγνητικού κύματος στην περίπτωση των αλατούχων εδαφών είναι μεγαλύτερος. Στην περίπτωση αυτή όμως εκτός από τα ζεύγη τιμών της υγρασίας και της διηλεκτρικής σταθεράς χρειάζεται και η γνώση της φαινόμενης ηλεκτρικής αγωγιμότητας. Με τον τρόπο αυτό επιλύεται το πρόβλημα της μέτρησης της υγρασίας του πορώδους μέσου και στις περιπτώσεις υψηλής αλατότητας με έναν σχετικά εύκολο τρόπο.

Λέξεις-κλειδιά: Διηλεκτρικοί αισθητήρες, βαθμονόμηση, αλατότητα

THE EFFECT OF SALINITY IN THE DETERMINATION OF SOIL MOISTURE BY USING DIELECTRIC DEVICE

Kargas G[1]. Ntoulas N[2]. Nektarios P[2]. Kladou A.[1]
[1.]Dep. of Natural Resources Development & Agricultural Engineering
[2.] Department of Crop Science
Kargas@aua.gr

In the present study the impact of soil electrical conductivity on water content determination using the dielectric sensor TDR300 was investigated in three porous media. The study included different water content regimes varying from completely dry to saturation as well as several electrical conductivity levels of soil solution. From the results it was determined that the relation between volumetric water content (θ) of the porous media and the square root of permittivity (ε) was linear up to 0.5 dS/m of bulk electrical conductivity (σ_b). Based on this finding TDR300 calibration is facilitated by knowing a pair of water content values (usually completely dry and at saturation) and the values of permittivity. It was also proven that for bulk electrical conductivity values exceeding 0.5 dS/m, the relationship between water content and permittivity becomes logarithmic, rather than linear. The alteration of the relationship type between water content and permittivity for a specific porous medium level is due to the increased travel time of the electromagnetic wave that is caused by the increased electrical conductivity. Thus, for a specific porous medium and for the same water content, the electromagnetic wave travel time increases in accordance to electrical conductivity increase. In such cases it is obvious that apart from the water content pair values and permittivity, the bulk electrical conductivity value is necessary in order to obtain correct water content measurements. In conclusion, the accurate determination of porous media water content using TDR300 dielectric sensor can be resolved relatively easy even at high electrical conductivity values.

*Key words***:** Dielectric sensors, calibration, salinity

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η δυνατότητα απόκτησης μετρήσεων ακριβείας της εδαφικής υγρασίας με τη χρήση της συσκευής TDR έχει οδηγήσει στην ανάπτυξη πολλών διηλεκτρικών αισθητήρων οι οποίοι χρησιμοποιούν σαν βάση για τον υπολογισμό της θ τη διηλεκτρική σταθερά του εδάφους. Οι Topp et. al., (1980) παρουσίασαν μία εμπειρική εξίσωση η οποία χρησιμοποιείται ευρέως για τον υπολογισμό της θ από την ε η οποία γενικά είναι ανεξάρτητη από το είδος του εδάφους και την αλατότητά του. Το υψηλό κόστος της TDR έχει οδηγήσει στην ανάπτυξη φθηνότερων διηλεκτρικών αισθητήρων, οι οποίοι όμως λειτουργούν σε πολύ χαμηλότερες συχνότητες.

Οι Ferre and Topp (2002) έδειξαν ότι η εξίσωση των Topp et. al. (1980) είναι ισοδύναμη με μία γραμμική σχέση μεταξύ της τετραγωνικής ρίζας της ε και της θ:

$$\theta = 0.115\sqrt{\varepsilon} - 0.176 \quad (1)$$

Η εξίσωση (1) μπορεί να μετασχηματιστεί στην εξίσωση (2):

$$\sqrt{\varepsilon} = \alpha_1\theta + \alpha_0 = 8.69\theta + 1.52 \quad (2)$$

όπου α_1 είναι η τιμή της κλίσης της ευθείας και α_0 η τιμή της τετραγωνικής ρίζας της ε όταν θ=0.

Η ύπαρξη γραμμικής σχέσης μεταξύ της τετραγωνικής ρίζας της ε και της θ έχει παρατηρηθεί και σε άλλους διηλεκτρικούς αισθητήρες σε ανόργανα κυρίως εδάφη. (Seyfried and Murdock, 2004; Kargas and Kerkides, 2008; Kargas et al., 2011; Kargas and Soulis 2012). Επίσης στους διηλεκτρικούς αισθητήρες δεν έχει εξεταστεί λεπτομερώς η επίδραση της EC στην μέτρηση της θ και υπονοείται ότι αυτοί συμπεριφέρονται με παρόμοιο τρόπο με την TDR (Kargas and Kerkides 2010, 2012.)

Οι διηλεκτρικοί αισθητήρες όμως λειτουργούν σε πολύ χαμηλότερες συχνότητες συγκριτικά με την συσκευή TDR. Στην περίπτωση αυτή όμως το φανταστικό μέρος της διηλεκτρικής σταθεράς, η οποία είναι ένας μιγαδικός αριθμός, μπορεί να αποκτήσει σημαντικές τιμές ιδιαίτερα σε καθεστώς υψηλής αλατότητας. Ετσι η τιμή της διηλεκτρικής σταθεράς η οποία μετριέται με τους αισθητήρες η οποία στην περίπτωση του TDR θεωρείται ίση με το πραγματικό μέρος του μιγαδικού αριθμού, μπορεί να είναι μεγάλη με αποτέλεσμα την υπερεκτίμηση της υγρασίας (θ) σε αυτές τις περιπτώσεις

Γενικά έχουν αναπτυχθεί δύο διαφορετικές μεθοδολογίες για την βαθμονόμηση των αισθητήρων. Στην πρώτη περίπτωση η σχέση μεταξύ της ε και της θ αποκτάται σε δείγματα εδάφους με προκαθορισμένη υγρασία η οποία είναι ομοιόμορφα κατανεμημένη στην εδαφική μάζα (Seyfried et al., 2005). Η δεύτερη είναι η μέθοδος διήθησης από την βάση μιας στήλης η οποία περιέχει το εδαφικό δείγμα (Young et. al. 1997). Με τη μέθοδο αυτή, η οποία είναι σχετικά γρήγορη, μπορούν να ληφθούν πολλά πειραματικά σημεία ε-θ. Όμως έχει το μειονέκτημα ότι η κατανομή της υγρασίας είναι ανομοιόμορφη με αποτέλεσμα ο υπολογισμός της ε να γίνεται με διαφορετικό τρόπο από αυτόν της ομοιόμορφης υγρασίας (Kargas and Kerkides 2009; Kargas et.al., 2011).

Ο αισθητήρας TDR300 ο οποίος είναι σχετικά καινούργιος, επειδή παρέχει την δυνατότητα αλλαγής του μήκους των ραβδίων του έχει χρησιμοποιηθεί μέχρι τώρα κυρίως σε περιπτώσεις υποστρωμάτων περιορισμένου βάθους σε ταρατσόκηπους ή σε θερμοκήπια. Έτσι πολύ λίγα είναι γνωστά για την συμπεριφορά του και για την επίδραση που έχουν διάφορες εδαφικές ιδιότητες στην ακρίβεια των μετρήσεων του.

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η διερεύνηση της επίδρασης της εδαφικής αλατότητας στις εξισώσεις βαθμονόμησης του TDR300 σε τρία διαφορετικά πορώδη μέσα και αν αυτές οι εξισώσεις διαφέρουν μεταξύ τους.

2.ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1. Ο αισθητήρας TDR300

Ο αισθητήρας TDR300 είναι εφοδιασμένος με δύο μεταλλικά ραβδία, τα οποία λειτουργούν σαν κυματοδηγοί. Το εκπεμπόμενο σήμα του αισθητήρα μεταφέρεται διαμέσου των ραβδίων και ανακλάται, όταν φτάσει στο άκρο τους. Οι μετρήσεις της συσκευής αναφέρονται στην περίοδο του σήματος (P)(μseconds), η οποία είναι αντίστροφη της συχνότητας του. Όσο μεγαλύτερη είναι η θ του πορώδους μέσου τόσο μεγαλύτερη είναι και η περίοδος του σήματος. Ο όγκος αναφοράς του εδαφικού δείγματος είναι κύλινδρος ύψους όσο το μήκος των ραβδίων και διαμέτρου μεγαλύτερης κατά 3 cm εξωτερικά των ραβδίων. Ο TDR300 έχει ενσωματωμένη βαθμονόμηση μεταξύ της P και της θ για τα ανόργανα πορώδη μέσα και τα μέσα με υψηλή περιεκτικότητα σε άργιλο (Spectrum Technologies, Inc., 2009).

Για την επίτευξη μέγιστης ακρίβειας στον υπολογισμό της θ ο κατασκευαστής συνιστά την πραγματοποίηση ειδικής βαθμονόμησης του αισθητήρα. Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκαν ραβδία μήκους 12 cm.

2.2. Πορώδη μέσα

Στην παρούσα εργασία εξετάστηκαν τρία διαταραγμένα πορώδη μέσα Ένα αμμώδες (S), ένα αργιλώδες(C), και ένα υπόστρωμα με κατ' όγκο αναλογίες συστατικών SL15:PUM40:PER20:C20:Z5 όπου (SL) αμμοπηλώδες έδαφος, (PUM) ελαφρόπετρα, (C) κομπόστα, Περλίτης (PER) και (Z) ζεόλιθος.

2.3. Μετρήσεις σε υγρά γνωστής διηλεκτρικής σταθεράς και ηλεκτρικής αγωγιμότητας

Για την εύρεση της σχέσης μεταξύ της P και της ε, την οποία δεν παρέχει ο κατασκευαστής, ελήφθησαν οι μετρήσεις της P στον αέρα, στην βουτανόλη, στην αιθανόλη και σε απιονισμένο νερό

θερμοκρασίας 20^0 C. Χρησιμοποιήθηκαν ο αέρας και τα τρία παραπάνω υγρά επειδή είναι γνωστή η διηλεκτρική τους σταθερά, 1, 16.8, 24.3 και 80 αντίστοιχα και έτσι ήταν δυνατόν να ευρεθεί η σχέση της ε με την P.

Η ευαισθησία του TDR300 στην ηλεκτρική αγωγιμότητα εξετάστηκε κατ' αρχή σε 25 υγρά διαλύματα KCl των οποίων η ηλεκτρική αγωγιμότητα μεταβλήθηκε από 0 dS m^{-1} εως 10 dS m-1. Σε κάθε τιμή της EC έγινε καταγραφή της τιμής της P.

2.4. Διαδικασία μελέτης στα πορώδη μέσα

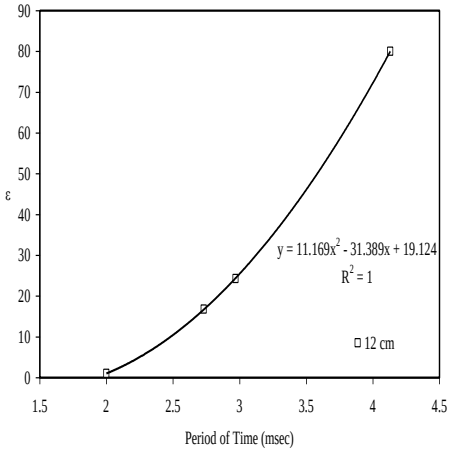
Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος των ανεξάρτητων δειγμάτων προκαθορισμένης υγρασίας. Τα ξηρά δείγματα τοποθετήθηκαν αρχικά σε δοχείο προκαθορισμένου όγκου 25×15×10 cm για να υπολογιστεί η φαινόμενη πυκνότητα ρ_φ (gr/cm^3). Στην συνέχεια τοποθετήθηκαν σε λεκάνη όπου προστίθετο κάθε φορά συγκεκριμένη ποσότητα απιονισμένου νερού για να αποκτηθεί προκαθορισμένη υγρασία. Σε κάθε επίπεδο υγρασίας τα δείγματα ανακατεύονταν καλά μέχρι να ομογενοποιηθούν υγρασιακά πλήρως. Οι τιμές της πραγματικής υγρασίας των εδαφών και των υποστρωμάτων (θ_m) που αποκτήθηκαν είναι 0, 0.05, 0.10, 0.15, 0.20, 0.25, 0.30 και 0.35 cm^3/cm^3. Μετά την υγρασιακή τους ομογενοποίηση τα δείγματα, τοποθετήθηκαν στο δοχείο 25×15×10 cm. Στην συνέχεια ελήφθησαν οι μετρήσεις με τον αισθητήρα. Μετά το πέρας όλων των μετρήσεων ακολουθούσε ξήρανση των δειγμάτων. Με τον τρόπο αυτό έγινε ανεξάρτητος υπολογισμός της θm με την αξιοποίηση της ρ_φ. Επίσης μετά την έξοδο από τον φούρνο και αφού μειώνονταν η θερμοκρασία στους 25^0C γινόταν πάντα μέτρηση της P σε πλήρες ξηρό δείγμα δηλαδή σε θ_m=0.

Για να διερευνηθεί λεπτομερέστερα η επίδραση της αλατότητας εξετάστηκε και το αμμώδες μέσο σε διάφορα επίπεδα EC εκτός από τα υγρά διαλύματα. Ξεκινώντας από ξηρή άμμο οι προκαθορισμένες υγρασίες αποκτήθηκαν με τέσσερα διαφορετικά διαλύματα 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5 και 5 dS/m. Η απόκτηση κάθε προκαθορισμένης υγρασίας έγινε με τον ίδιο τρόπο που προαναφέρθηκε με το απιονισμένο νερό. Συνολικά κατασκευάστηκαν 36 δείγματα διαφορετικής θ_m και ηλεκτρικής αγωγιμότητας.

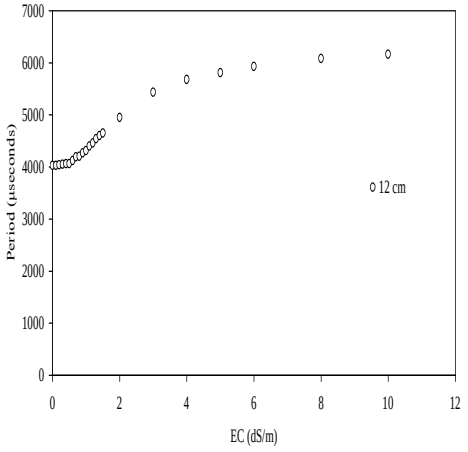
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

3.1. Μετρήσεις στα υγρά

Στο Σχήμα 1α παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από το πείραμα στα υγρά για την εύρεση της σχέσης μεταξύ της P και της ε για μήκος ραβδίων 12 cm.



a



b

Σχήμα 1.(α). Η σχέση μεταξύ της ε και της P σε mseconds για μήκος ραβδίων 12 cm.(β). Η σχέση μεταξύ της EC και της περιόδου (t) σε μseconds

Η σχέση P-ε η οποία προέκυψε για τον υπολογισμό της ε στα πορώδη μέσα, από τις μετρήσεις της P είναι

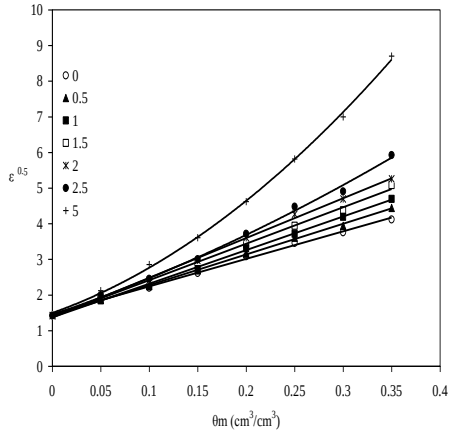
$$\varepsilon = 11.169P^2 - 31.389P + 19.124 \quad (3)$$

Από το Σχήμα 1b φαίνεται ότι η P αρχίζει να αυξάνεται όταν η ηλεκτρική αγωγιμότητα υπερβαίνει τα EC 0.2 dS/m. Έτσι ενώ ξεκινά από τιμή περίπου 3600 μsec για EC 0 dS/m καταλήγει στην τιμή 6000 μsec για EC 10 dS/m. Σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή ο αισθητήρας κατά την εμβάπτιση του σε νερό με EC 0 dS/m οφείλει να δείχνει τιμή υγρασίας 70-75% για μήκος ραβδίων 12 cm. Πράγματι η τιμή της θ που μετρήθηκε ήταν 73.1%. Όμως στην EC 10 dS/m η τιμή της θ ήταν 195%. Φαίνεται λοιπόν ότι η ηλεκτρική αγωγιμότητα επηρεάζει σοβαρά την P και άρα προκαλεί τεράστια αύξηση της ε και συνεπώς της υπολογιζόμενης υγρασίας (θ).

3.2. Η βαθμονόμηση του αισθητήρα TDR300 για EC≤2 dS/m και φαινόμενη EC<0.5 dS/m

Στο Σχήμα 2 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από το πείραμα στην άμμο με διαφορετικά επίπεδα αλατότητας. Από τα αποτελέσματα προκύπτει ότι η επίδραση της EC αρχίζει από πολύ μικρές τιμές της. Ακόμα και στην EC=0.5 dS/m υπάρχει επίδραση στην ε. Όμως η σχέση μεταξύ της τετραγωνικής ρίζας της ε και της θ_m παραμένει γραμμική μέχρι EC=2 dS/m. Ο συντελεστής R^2 μέχρι και την EC=2 dS/m

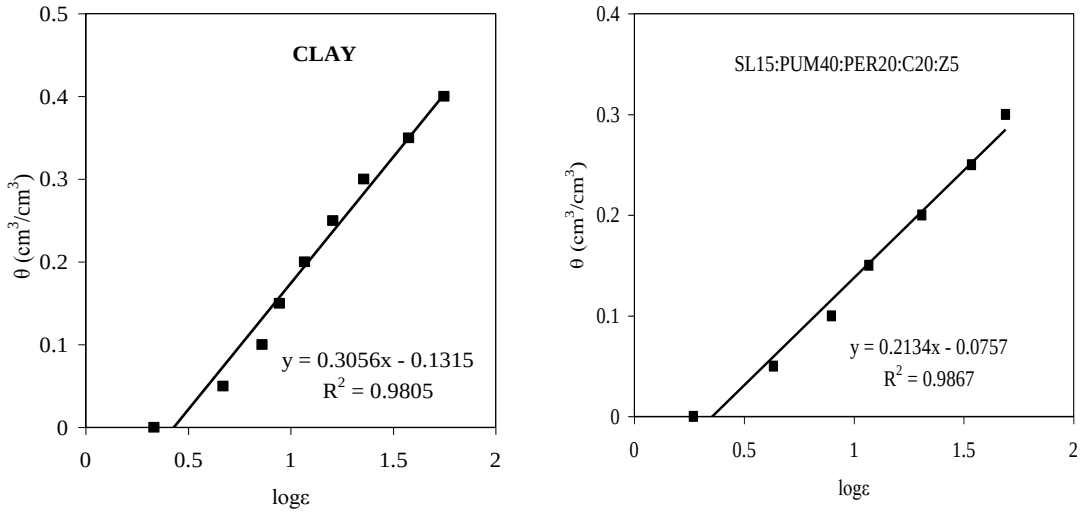
είναι αρκετά υψηλός με τιμή 0.998. Επιπλέον παρατηρείται ότι οι συντελεστές της γραμμικής σχέσης για EC=0 dS/m είναι παρόμοιοι με αυτούς της εξίσωσης (1). Συγκεκριμένα οι τιμές είναι 0.123 και 0.175. Όμως όσο αυξάνεται η EC του διαλύματος οι παράμετροι μεταβάλλονται. Έτσι στην EC=2 dS/m οι τιμές είναι 0.089 και 0.121. Πιο συγκεκριμένα για συνήθη τιμή της θ=0.2 cm^3/cm^3 στα εδάφη για EC=0 dS/m η υπολογιζόμενη ε θα είναι 9.26 ενώ για EC=2 dS/m θα είναι 12.98. Έτσι βλέπουμε ότι ο ισχυρισμός του κατασκευαστή για μη επίδραση της EC στην ε και στην θ μέχρι EC=2 dS/m δεν ισχύει. Πρέπει να υπενθυμίσουμε ότι οι διηλεκτρικές συσκευές επηρεάζονται όχι από την EC του διαλύματος αλλά από την φαινόμενη EC, η οποία εξαρτάται από την θ του μέσου και την EC του διαλύματος (Rhoades et.al., 1976; Kelleners et.al., 2005; Evett et. al., 2005). Η τιμή της φαινόμενης EC όπως μετρήθηκε από τον διηλεκτρικό αισθητήρα WET-2 στην μέγιστη θ=0.35 cm^3/cm^3 για EC του διαλύματος 2 dS/m είναι 0.50 dS/m. Συνεπώς το ανώτερο όριο διατήρησης της γραμμικής σχέσης μεταξύ της τετραγωνικής ρίζας της ε και της θ στα διάφορα πορώδη μέσα θα είναι η τιμή της φαινόμενης EC 0.50 dS/m.



Σχήμα 2. Η σχέση μεταξύ τετραγωνικής ρίζας της ε και της θm στα διάφορα επίπεδα αλατότητας (0, 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5 και 5 dS/m)

3.3. Η βαθμονόμηση του αισθητήρα TDR300 για EC>2 dS/m και φαινόμενη EC>0.50 dS/m

Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι για EC>2 dS/m η γραμμικότητα της σχέσης $\sqrt{\varepsilon}-\theta$ μειώνεται και ειδικά στην EC=5 dS/m ο συντελεστής συσχέτισης είναι R^2=0.96. Στην περίπτωση αυτή στην θm=0.20 cm^3/cm^3 η τιμή της ε από την εξίσωση (3) αντιστοιχεί στην τιμή ε=21.4. Ετσι η αύξηση της EC προκαλεί αύξηση της P με συνέπεια για την ίδια τιμή υγρασίας η ε να αποκτά πολύ μεγάλες τιμές. Εάν θεωρήσουμε την σχέση $\sqrt{\varepsilon}-\theta$ γραμμική για EC=5 dS/m τότε στην θ_m=0.30 cm^3/cm^3 η υπολογιζόμενη θ=0.38 cm^3/cm^3. Φαίνεται λοιπόν από αυτό το παράδειγμα ότι η γραμμική σχέση πάνω από το όριο της φαινόμενης EC=0.50 dS/m οδηγεί σε σημαντικές αποκλίσεις.



Σχήμα 3. Η σχέση θ-logε για το αργιλώδες έδαφος και του υποστρώματος.

Για την περίπτωση αυτή εξετάσαμε την λογαριθμική σχέση βαθμονόμησης μεταξύ της θ και της ε. Η σχέση αυτή έχει παρουσιαστεί σαν καταλληλότερη σε ορισμένες περιπτώσεις πορωδών

μέσων (Sun et.al. 1999; Tomer et.al. 1999; Regalado 2004).

Για EC=5 dS/m η λογαριθμική σχέση παρουσιάζει υψηλότερο συντελεστή προσδιορισμού R^2=0.987 και μορφή

$$\theta = 0.229 \log \varepsilon - 0.094 \quad (4)$$

Για την τιμή της ε=21.4 η θ η οποία προκύπτει από την (4) είναι θ=0.21 cm^3/cm^3. Φαίνεται λοιπόν ότι η λογαριθμική σχέση δίνει πολύ καλύτερα αποτελέσματα από την γραμμική σχέση $\sqrt{\varepsilon} - \theta$.

Η μορφή αυτή βαθμονόμησης εξετάστηκε επιπλέον σ' ένα αργιλώδες έδαφος και σ' ένα υπόστρωμα για ταρατσόκηπους στα οποία η μέγιστη φαινόμενη EC είναι πάνω από το όριο των 0.50 dS/m (Σχήμα 3).

Η φαινόμενη EC του αργιλώδους εδάφους είναι 0.59 και του υποστρώματος 0.65 dS/m. Η σχέση θ-logε παρουσιάζει και στις δύο περιπτώσεις μεγαλύτερο R^2 συγκριτικά με την σχέση $\sqrt{\varepsilon} - \theta$. Επιβεβαιώνεται και από αυτά τα αποτελέσματα ότι υπάρχει ένα όριο πάνω από το οποίο η καμπύλη βαθμονόμησης αλλάζει μορφή.

Συνοψίζοντας από τα παραπάνω αποτελέσματα προκύπτει ότι η απόκτηση μετρήσεων ακριβείας της θ από τον TDR300 συσχετίζεται με την μέτρηση της φαινόμενης EC, διότι από αυτήν εξαρτάται η μορφή της εξίσωσης βαθμονόμησης που θα εφαρμοστεί.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Evett SR, Tolk JA, Howell TA (2005) TDR laboratory calibration in travel time, bulk electrical conductivity, and effective frequency. *Vadose Zone Journal* **4**, 1020–1029.

.Ferre, P.A. and Topp, G.C. 2002. Time-domain reflectometry. p.434–446. In: G.H. Dane and G.C. Topp. Methods of soil analysis, Part 4 - Physical methods. Soil Sci. Soc. Am. J. Inc., Madison, Wisconcin, USA ok

Kargas, G. and Kerkides, P. 2008. Water content determination in mineral and organic porous media by ML2 theta probe. Irrig. Drainage 57:435–449.

Kargas, G., and Kerkides, P. (2009). "Performance of the theta probe ML2 in the presence of non-uniform soil water profiles." Soil Till. Res., 103(2), 425-432.

Kargas, G., Kerkides, P., 2010. Evaluation of a dielectric sensor for measurements. Journal of Irrigation and Drainage Engineering 136(8), 553-558.

Kargas, G., Kerkides, P. Seyfried, P.M. and Sgoumbopoulou, A. 2011. WET sensor performance in organic and inorganic media with heterogeneous moisture distribution. Soil Sci. Soc. Am. J. 75:1244–1252.

Kargas, G. and Soulis, K. 2012. Performance analysis and calibration of a new low-cost capacitance soil moisture sensor. J. Irr. Drainage Eng. 138:632–641.

Kargas, G., Kerkides. P.2012. Comparison of two models in predicting pore water electrical conductivity in different porous media. Geoderma 189:563-573.

Kelleners T, Seyfried M, Blonquist J, Bilskie J, Chandler D (2005) Improved interpretation of water content reflectometer measurements in soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* **69**, 1684–1690.

Regalado C.M. 2004. A physical interpretation of logarithmic TDR calibration equations of volcanic soils and theirs solid fraction permittivity based on Lichtenecker's mixing formulae. Geoderma 123:41-50.

Rhoades J, P. Ratts and R. Prather, 1976. Effects of liquid-phase electrical conductivity, water content, and surface conductivity on bulk soil electrical conductivity. Soil Sci. Soc. Amer. Journal 40:651-655.

Seyfried, M.S. and. Murdock, M.D 2004. Measurement of soil water content with a 50-MHz soil dielectric sensor. Soil Sci. Soc. Am. J. 68:394–403.

Seyfried, M.S., Grant, L.E., Du, E. and Humes, K. 2005. Dielectric loss and calibration of the hydra probe soil water sensor. Vadose Zone J. 4:1070–1079.

Sun Z.J.,Young G.D., McFarlane R.A., and B.M. Chambers. 1999. The effect of soil electrical conductivity on moisture determination using time-domain reflectometry in sandy soil. Can. J. Soil Sci.

Spectrum Technologies, Inc. 2009. Field Scout TDR300, Product Manual. 12360 S. Industrial Dr. East, Plainfield, IL 60585 USA.

Tomer M.D., Clothier B.E., Vogeler I and S. Green. 1999. A dielectric water content relationship for sandy volcanic soils in New Zealand. Soil Sci. Soc. Am. J.63:777-781.

Topp, G.C., Davis, J.L. and Annan. A.P. 1980. Electromagnetic determination of soil water content: Measurements in coaxial transmission lines. Water Resources Res. 16:574–582.

Young, M.H., Fleming, J.B., Wierenga, P.J. and Warrick, A.W. 1997. Rabid laboratory calibration of time domain reflectometry using upward infiltration. Soil Sci. Soc. Am. J. 61:707–712.

ΟΙ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΕΣ ΜΟΡΦΕΣ ΤΩΝ ΠΡΟΦΙΛ ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΕΝΟΣ ΓΥΜΝΟΥ ΚΑΙ ΑΡΧΙΚΑ ΚΟΡΕΣΜΕΝΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ ΜΕ ΠΑΡΟΥΣΙΑ ΚΑΙ ΧΩΡΙΣ ΠΑΡΟΥΣΙΑ ΕΞΑΤΜΙΣΗΣ

Κάργας Γ., Λαμπροπούλου Α., Μεϊμάρης Μ., Κερκίδης Π.
Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών
Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων & Γεωργ. Μηχανικής
Τομέας Διαχείρισης Υδατικών Πόρων, Ιερά Οδός 75, 118 55 Αθήνα
kargas@aua.gr, kerkidesaua.gr, labropoyloyalexia@windowslive.com

Στην παρούσα πειραματική εργασία παρουσιάζονται τα διαφορετικά προφίλ υγρασίας όπως μεταβάλλονται στον χρόνο, σε ένα γυμνό και αρχικά κορεσμένο πηλώδες έδαφος μέχρι το βάθος των 60 cm όταν από την επιφάνεια του επιτρέπεται η όχι η εξάτμιση, ενώ η στάθμη του υπόγειου νερού βρίσκεται σε μεγάλο βάθος. Στην περίπτωση απουσίας εξάτμισης φαίνεται ότι η κίνηση του νερού γίνεται κυρίως κάτω από την επίδραση της βαρύτητας αφού η κλίση του φορτίου πίεσης είναι πολύ μικρή. Στην περίπτωση παρουσίας εξάτμισης στην επιφάνεια του εδάφους, αυτή βαθμιαία ξηραίνεται, με αποτέλεσμα την εμφάνιση αρνητικών κλίσεων του υδραυλικού φορτίου λόγω ισχυρών αρνητικών κλίσεων του φορτίου πίεσης. Από μια χρονική στιγμή και μετά το μέγεθος της κλίσης του φορτίου πίεσης (αρνητικές τιμές) δεν μπορεί να μεγαλώσει περαιτέρω. Αυτό σε συνδυασμό με την μείωση της υδραυλικής αγωγιμότητας λόγω μείωσης της εδαφικής υγρασίας στην ανώτερη εδαφική επιφάνεια οδηγεί στην μείωση της ταχύτητας εξάτμισης. Σε ένα ορισμένο βάθος Z_o η κλίση του φορτίου πίεσης τείνει προς την τιμή -1 με αποτέλεσμα η ροή να είναι μηδενική. Κάτω από το βάθος Z_o η κίνηση του νερού γίνεται κυρίως με την επίδραση της βαρύτητας αφού οι κλίσεις του φορτίου πίεσης είναι μικρές.

Από την σύγκριση των απωλειών νερού μέχρι το βάθος των 60 cm ανάμεσα στις δύο περιπτώσεις για χρονικό διάστημα 10 ημερών φαίνεται ότι οι απώλειες είναι μεγαλύτερες στην περίπτωση της απουσίας εξάτμισης από την επιφάνεια διήθησης. Η διαφορά αυτή προκύπτει κυρίως κατά το χρονικό διάστημα της πρώτης ημέρας μετά την διακοπή της άρδευσης.

Λέξεις-κλειδιά: Ανακατανομή εδαφικού νερού, υγρασία, εξάτμιση.

THE DIFFERENT FORMS OF SOIL MOISTURE PROFILES IN BARE SOIL UNDER FREE EVAPORATION AND NO EVAPORATION CONDITIONS

Kargas G., Labropoulou A., Meimaris M. and P. Kerkides
Agricultural University of Athens
Sector of water resources management

kargas@aua.gr, kerkides@aua.gr, labropoyloyalexia@windowslive.com

In this experimental work the soil moisture profiles time evolution is presented for a loamy soil, initially saturated up to a depth of 60 cm, for two different surface conditions. In one case the soil surface is left free to evaporate (FE), while in the other case soil surface evaporation is prevented (NE). Water table is in a great depth in the soil profile. It is found that for the NE case water movement is governed mainly by gravity, since, soil water pressure head gradient is rather small. For the FE case, it is found that soil water up-wards movement, in order to meet atmospheric demands is governed mainly by quite large negative soil water pressure head gradients. In this respect upper soil layer becomes dry quite fast, thus leading unsaturated hydraulic conductivity to very low values. The diminishing value of hydraulic conductivity has as a result the drastic reduction of soil surface water evaporation rate. It is also observed that in a certain depth Z_o below soil surface the slope of pressure head approaches the value -1 and therefore the slope of hydraulic head approaches the value of 0, thus Darcy's velocity appears to be negligible. Below Z_o water movement is practically governed by gravity. One could anticipated that soil water losses up to a depth of 60 cm for a quite large time interval of about 10 days, are larger for NE than that for the FE case.

Key words: Redistribution soil water, soil moisture, evaporation

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Όταν η άρδευση ή η βροχόπτωση σταματούν και το ελεύθερο νερό της εδαφικής επιφάνειας απομακρύνεται, η κίνηση του νερού μέσα στο έδαφος δεν σταματά και πιθανότατα διαρκεί για μεγάλο χρονικό διάστημα. Εάν υπάρχει υψηλή υπόγεια στάθμη ή το εδαφικό προφίλ έχει κορεστεί, η κίνηση του νερού μετά το τέλος της διήθησης ορίζεται σαν εσωτερική στράγγιση (Hillel,1998). Αντίθετα εάν η υπόγεια στάθμη είναι πολύ βαθειά και το εδαφικό προφίλ δεν έχει φτάσει στον κορεσμό σε μεγάλο βάθος, τότε η κίνηση του νερού ορίζεται σαν ανακατονομή. Αποτέλεσμα και των δύο διαδικασιών είναι το νερό να ανακατανέμεται στο έδαφος αυξάνοντας την υγρασία των κατώτερων εδαφικών στρώσεων ενώ μειώνεται αυτή των ανώτερων εδαφικών στρώσεων.

Στην υποθετική περίπτωση μιας ομοιόμορφου υγρασιακά (κορεσμός) εδαφικής κατατομής με απουσία υπόγειας στάθμης η κίνηση του νερού προς

τις βαθύτερες στρώσεις γίνεται λόγω βαρύτητας αφού οι κλίσεις του φορτίου πίεσης θα είναι σχεδόν μηδενικές.

Οι Hillel και Van Bavel (1976) εξέτασαν την περίπτωση της εσωτερικής στράγγισης σε τρία εδάφη με αριθμητική επίλυση της εξίσωσης Richards. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το αμμώδες έδαφος παρόλο ότι έχει πολύ μικρότερη τιμή υγρασίας κορεσμού στραγγίζει πολύ γρηγορότερα αρχικά. Έτσι στις δύο πρώτες ημέρες χάνει την διπλάσια ποσότητα συγκριτικά με το πηλώδες έδαφος και την πενταπλάσια συγκριτικά με το αργιλώδες. Στην συνέχεια οι διαφορές μειώνονται και μπορούν να αντιστραφούν καθώς η στράγγιση στο αμμώδες έδαφος πρακτικά σταματά ενώ στο πηλώδες και πολύ περισσότερο στο αργιλώδες μπορεί να συνεχίζεται για πολλές ημέρες. Επίσης από τα αποτελέσματα προέκυψε ότι η αθροιστική στράγγιση και στα τρία κορεσμένα εδάφη μέχρι το βάθος των 116 cm ήταν μεγαλύτερη στην περίπτωση της στράγγισης χωρίς την παρουσία εξάτμισης συγκριτικά με αυτήν παρουσία εξάτμισης.

Τα παραπάνω αποτελέσματα είναι τελείως διαφορετικά εάν στο εδαφικό προφίλ εμφανίζονται στρώσεις με διαφορετικές υδραυλικές ιδιότητες (Hillel and Talpaz, 1977).

Στην παρούσα εργασία εξετάζεται η ανακατανομή του εδαφικού νερού σε ένα αρχικά κορεσμένο πηλώδες έδαφος μέχρι το βάθος των 60 cm για τις περιπτώσεις παρουσίας και απουσίας εξάτμισης.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1. Περιγραφή εδάφους

Το έδαφος αυτό βρίσκεται στον πειραματικό αγρό του εργαστηρίου της Γεωργική Υδραυλικής όπου εκτελούνται διάφορες πειραματικές-ερευνητικές εργασίες

Στον πίνακα 1 δίνεται η μηχανική ανάλυση του εδάφους κατά βάθος και ο αντίστοιχος τύπος του εδάφους

Πίνακας 1.Μηχανική ανάλυση στα διάφορα βάθη και τύπος του εδάφους

Βάθος cm	Sand %	Silt %	Clay %	Τύπος
0-10	42.4	38.3	19.3	L
10-20	40.7	38.7	20.6	L
20-30	36.4	41.3	22.3	L
30-40	36.7	40.0	23.3	L
40-60	26.7	46.7	26.6	L-CL
60-100	24.4	36.0	39.6	CL

2.2 Πειραματική διαδικασία

Η πειραματική διαδικασία πραγματοποιήθηκε στο αγρόκτημα του εργαστηρίου Γ. Υδραυλικής τον Ιούλιο του 2010. Τα δύο πειραματικά τεμάχια ήταν διπλανά και είχαν διαστάσεις 5X5 m. Στο κέντρο κάθε τεμαχίου τοποθετήθηκε ειδικός σωλήνας υποδοχής της διηλεκτρικής συσκευής PR2 (Delta –T Device Ltd, User manual for the Profile probe, 2008).

Η συσκευή PR2 μετρά τη θ σε καθορισμένα βάθη του εδάφους. Η διάμετρός της είναι περίπου 25 mm και το μήκος 120 cm. Για τη μέτρηση της θ η συσκευή εισάγεται στον ειδικό σωλήνα και οι τιμές της λαμβάνονται με τη βοήθεια της φορητής συσκευής (HH2). Η PR2 λειτουργεί στη συχνότητα των 100 MHz και το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο που δημιουργείται επεκτείνεται σε ακτίνα 10 cm γύρω από τη συσκευή. Με τον τρόπο αυτό προσδιορίζεται η διηλεκτρική σταθερά του εδάφους που περιβάλλει την συσκευή και διαμέσου της διηλεκτρικής σταθεράς (ε) του μέσου με την βοήθεια της βιομηχανικής βαθμονόμησης της συσκευής υπολογίζεται η υγρασία του εδάφους (θ). Το σήμα εξόδου της συσκευής σε κάθε βάθος δίνεται σε Volts. Από τις τιμές των Volts διαμέσου της εξίσωσης υπολογίζεται η διηλεκτρική σταθερά.

$$\sqrt{\varepsilon}=1.125-5.536V+67.17V^2-234.42V^3+413.56V^4-356.68V^5+121.53V^6 \quad (1)$$

Η θ προσδιορίζεται από την εξίσωση:

$$\theta=\frac{\sqrt{\varepsilon}-\alpha_o}{\alpha_1} \quad (2)$$

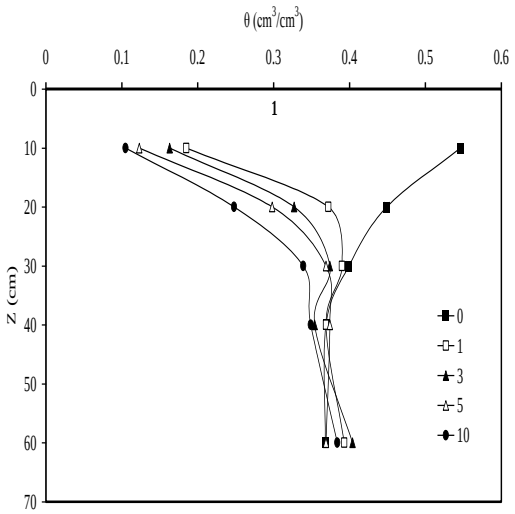
Στην περίπτωση της εργοστασιακής βαθμονόμησης οι τιμές των α_0 και α_1 είναι 1.6 και 8.4 αντίστοιχα.

Στα δύο πειραματικά τεμάχια αφού τοποθετήθηκαν οι σωλήνες για την μέτρηση με την PR2 και απομακρύνθηκε η φυσική βλάστηση, εγκαταστάθηκε σύστημα στάγδην άρδευσης σε πυκνή διάταξη ώστε να γίνεται διαβροχή όλου του πειραματικού τεμαχίου. Στην συνέχεια τα πειραματικά τεμάχια αρδεύτηκαν ταυτόχρονα μέχρι να πραγματοποιηθεί κορεσμός της εδαφικής κατατομής μέχρι το βάθος των 60 cm. Μετά την επίτευξη του κορεσμού στο ένα πειραματικό τεμάχιο η επιφάνεια έμεινε ελεύθερη (1) ενώ στο άλλο σκεπάστηκε με διαφανές πλαστικό ώστε να αποτρέπεται η εξάτμιση (2).

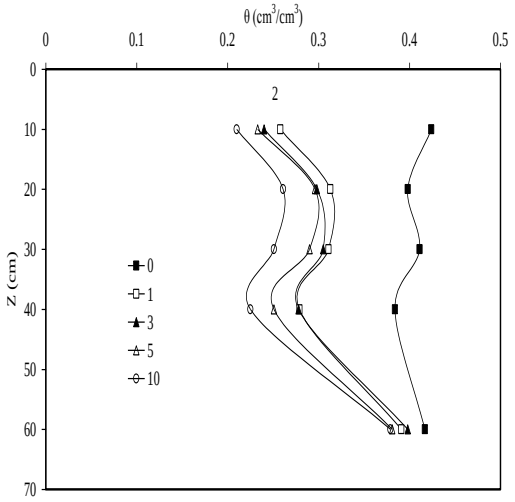
Μετά την διακοπή της άρδευσης λαμβάνονταν μετρήσεις της υγρασίας σε ημερήσια βάση και καθορισμένη ώρα για μεγάλο χρονικό διάστημα.

3.ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Στα σχήματα 1.1 και 1.2 παρουσιάζεται η χρονική εξέλιξη των κατατομών υγρασίας στα πειραματικά τεμάχια με παρουσία και απουσία εξάτμισης, αντίστοιχα.



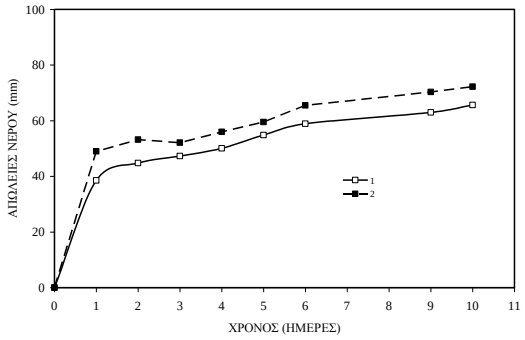
Σχήμα 1.1. Μεταβολή των κατατομών υγρασίας κατά τις 10 ημέρες μετά την διακοπή της άρδευης παρουσία εξάτμισης



Σχήμα.1.2. Μεταβολή των κατατομών υγρασίας κατά τις 10 ημέρες μετά την διακοπή της άρδευης απουσία εξάτμισης.

Από τα αποτελέσματα φαίνεται ότι στην περίπτωση της εξάτμισης (σχήμα 1.1) προκαλείται βαθμιαία ξήρανση της εδαφικής επιφάνειας, με αποτέλεσμα την εμφάνιση αρνητικών κλίσεων του υδραυλικού φορτίου λόγω ισχυρών αρνητικών κλίσεων του φορτίου πίεσης. Οι μεγάλες αρνητικές κλίσεις του υδραυλικού φορτίου φαίνεται να αντισταθμίζουν την μεγάλη μείωση της υδραυλικής αγωγιμότητας λόγω μείωσης της υγρασίας. Ετσι κατά το διάστημα λίγων ημερών η ένταση της εξάτμισης είναι πολύ μεγάλη. Το φαινόμενο είναι ιδιαίτερα έντονο κατά την πρώτη ημέρα όπου η επιφανειακή υγρασία μειώνεται από 0.55 cm^3/cm^3 σε 0.18 cm^3/cm^3 περίπου. Η μείωση της υγρασίας λόγω επίδρασης της εξάτμισης αλλά και της στράγγισης είναι έντονη μέχρι το βάθος περίπου των 30 cm. Είναι προφανές ότι από μια χρονική στιγμή και μετά ανάλογα με την αποξηραντική ικανότητα της ατμόσφαιρας καθώς και τις υδραυλικές ιδιότητες του πορώδους μέσου το μέγεθος της κλίσης του φορτίου πίεσης (αρνητικές τιμές) δεν μπορεί να μεγαλώσει περαιτέρω. Αυτό σε συνδυασμό με την μείωση της υδραυλικής αγωγιμότητας λόγω μείωσης της εδαφικής υγρασίας στην ανώτερη εδαφική επιφάνεια οδηγεί στην μείωση της ταχύτητας εξάτμισης. Σε ένα ορισμένο βάθος Z_0 (περίπου 30 cm) η κλίση του φορτίου πίεσης τείνει προς την τιμή -1 με αποτέλεσμα η ροή να είναι μηδενική αφού μηδενίζεται η κλίση του υδραυλικού φορτίου. Κάτω από το βάθος Z_0 η κίνηση του νερού γίνεται κυρίως με την επίδραση της βαρύτητας αφού οι κλίσεις του φορτίου πίεσης είναι σχετικά μικρές.

Στο πειραματικό τεμάχιο 2 (Σχήμα 1.2) είναι εμφανής η μείωση της υγρασίας σε όλο το βάθος της κατατομής μέχρι τα 60 cm ιδιαίτερα κατά την πρώτη ημέρα μετά την διακοπή της άρδευσης. Μάλιστα η μείωση στα βάθη 20,30 και 40 cm είναι σχεδόν ίδιου μεγέθους (περίπου 0.10 cm^3/cm^3 κατά την πρώτη ημέρα) Στην περίπτωση απουσίας εξάτμισης η κίνηση του νερού γίνεται κυρίως κάτω από την επίδραση της βαρύτητας αφού οι κλίσεις του φορτίου πίεσης είναι πολύ μικρές. Έτσι η ταχύτητα κίνησης του νερού προς τα βαθύτερα στρώματα είναι σχεδόν ίση με την τιμή της υδραυλικής αγωγιμότητας και μειώνεται στο χρόνο λόγω μείωσης της υγρασίας σε κάθε βάθος.



Σχήμα 2. Αθροιστικές απώλειες νερού από ένα αρχικά κορεσμένο εδαφικό προφίλ. 2.1. Ταυτόχρονη εξάτμιση και στράγγιση 22.. Μόνο στράγγιση.

Στο σχήμα 2 παρουσιάζονται συγκριτικά οι απώλειες νερού μεταξύ των δύο διαφορετικών μεταχειρίσεων. Οι υπολογισμοί του αρχικού ύψους νερού που είχε η εδαφική κατατομή μετά την διακοπή της άρδευσης καθώς και οι απώλειες μέχρι το βάθος των 60 cm υπολογίστηκαν με την μέθοδο του τραπεζίου (Κάργας κ.α 2011). Από τα αποτελέσματα φαίνεται ότι οι απώλειες είναι μεγαλύτερες στην περίπτωση στράγγισης με απουσία εξάτμισης. Οι απώλειες αυτές αποδίδονται κυρίως στις διαφορές των απωλειών κατά την πρώτη ημέρα μετά την διακοπή της άρδευσης. Ανάλογα αποτελέσματα για πηλώδες έδαφος είχαν παρατηρήσει και οι Hillel and van Bavel (1976).

4.ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα παραπάνω αποτελέσματα δείχνουν ότι η έννοια του «σημείου υδατοικανότητας» του εδάφους είναι γενικά αυθαίρετη αφού απώλειες νερού συνεχίζουν να υπάρχουν και μετά την 2-3 ημέρα από ένα γεγονός άρδευσης ή βροχόπτωσης (Veihmeyer and Hendrickson, 1950). Δεν μπορεί μια δυναμική

διαδικασία και μάλιστα συνεχής όπως είναι η ανακατανομή του νερού να περιγραφεί από μια στατική ιδιότητα. Ειδικά σε λεπτόκοκκα εδάφη η διαδικασία της ανακατανομής μπορεί να διαρκέσει αρκετά μεγάλο χρονικό διάστημα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Veihmeyer F.J and Hendrickson A.H. 1950. Soil moisture in relation to plant growth. Ann. Rev. Plant Physiol. 1:285-304.

Hillel D. and Talpaz H. 1977. Simulation of soil water dynamics in layered soils Soil Sci. 123:54-62.

Hillel D. and van Bavel C.H.M. 1976. Dependence of profile water storage on soil hydraulic properties: A simulation model. Soil Sci. Soc. Am. J. 40:807-815.

Hillel D. 1998. Environmental soil physics. San Diego, USA, Academic press.

Γ. Κάργας, Σουλάι Μ, Παπασωτηρίου Μ.,., Κερκίδης. 2011. Η Επίδραση των καλλιεργητικών φροντίδων στην διήθηση του νερού της βροχής στις ημίξηρες περιοχές. 7Ο συνέδριο ΕΓΜΕ. Αθήνα 5-7/10/2011

Η ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΗ ΚΑΜΠΥΛΗ ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΣΑΝ ΜΕΤΡΟ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΤΗΣ ΣΤΑΘΕΡΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΣΥΣΣΩΜΑΤΩΜΑΤΩΝ

Κάργας Γ., Αλτιναλμάζης Α., Μητροσύλης Δ., Λόντρα Π.
Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών
Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων & Γεωργ. Μηχανικής
Τομέας Διαχείρισης Υδατικών Πόρων, Ιερά Οδός 75, 118 55 Αθήνα
kargas@aua.gr

Η διατήρηση της συσσωμάτωσης στα εδάφη είναι μεγάλης σημασίας γιατί τους προσδίδει ιδιότητες που επιτρέπουν την δημιουργία ευνοϊκών συνθηκών για την κίνηση του νερού και τον ικανοποιητικό αερισμό τους. Η σταθερότητα των συσσωματωμάτων είναι μεγαλύτερης σημασίας από ότι η απλή ύπαρξή τους. Η κατάσταση συσσωμάτωσης ενός εδάφους και η σταθερότητα των συσσωματωμάτων στο νερό μπορεί να εκτιμηθεί με τον προσδιορισμό της χαρακτηριστικής καμπύλης συγκράτησης της υγρασίας. Ο προσδιορισμός των αλλαγών της κατανομής του μεγέθους των μεταξύ των συσσωματωμάτων πόρων σ' ένα κλάσμα συσσωματωμάτων ορισμένου μεγέθους, μετά από διαδοχικές διαβροχές του, μας δίνει ένα μέτρο εκτίμησης της σταθερότητας αυτών. Στην παρούσα εργασία εξετάζονται δύο εδάφη (Αμμοπηλώδες και αργιλοπηλώδες) από τα οποία ελήφθησαν τρία κλάσματα συσσωματωμάτων με διαμέτρους, 2-1.2mm, 1.2-0.5mm και 0.5-0.25mm. Σε κάθε κλάσμα μεγέθους συσσωματωμάτων έγιναν δύο έως τρεις διαβροχές και μετά από κάθε διαβροχή επακολούθησε προσδιορισμός της χαρακτηριστικής καμπύλης. Από κάθε χαρακτηριστική καμπύλη υπολογίστηκε η μεταβολή της κατανομής του μεγέθους των πόρων και διαμέσου αυτής εκτιμήθηκε η σταθερότητα των συσσωματωμάτων. Από τα αποτελέσματα φαίνεται ότι οι χαρακτηριστικές καμπύλες και η κατανομή μεγέθους των πόρων στο αμμοπηλώδες έδαφος μοιάζουν και στις τρεις κατηγορίες συσσωματωμάτων με αυτές της άμμου για ίδιες διαστάσεις κόκκων. Στο αργιλοπηλώδες έδαφος οι επαναδιαβροχές προκαλούν μια συνεχή μεταβολή του πορώδους που εκδηλώνεται με μείωση των πόρων μεγάλης ακτίνας και αύξηση των πόρων μικρής ακτίνας. Η χαρακτηριστική καμπύλη συγκράτησης της υγρασίας και η κατανομή μεγέθους των πόρων για το κλάσμα συσσωματωμάτων 0.25-0.5 mm στο αργιλοπηλώδες διαφέρει σημαντικά από τις λοιπές καμπύλες και κατανομές πόρων. Αυτό θα πρέπει να αποδοθεί στην αυξημένη καταστροφή αυτών των συσσωματωμάτων κατά την διαβροχή τους.

Λέξεις κλειδιά: Συσσωματώματα, χαρακτηριστική καμπύλη υγρασίας

SOIL MOISTURE RETENTION CURVE AS AN INDEX TO ASSESS THE AGGREGATES STABILITY

Kargas G., Altinalmazis A., Mitrosilis D., and P. Londra
Agricultural University of Athens
Dep. of Natural Resources Development & Agricultural Engineering
Sector of water resources management
kargas@aua.gr

Aggregate stability and size distribution are important properties of soils which affect the aeration and water movement. The aggregate stability is of more importance than there presence. This soil property can be appreciated from soil moisture retention curve (MRC). The changes of pore size distribution in one size fraction of aggregates after successive cycles of wetting and drainage is considered to indicate stability. In the present work we examined two soils and three fractions of aggregates (2-1.2, 0.5-1.2 and 0.25-0.5mm). Each fraction of aggregates was submitted to three successive cycles of wetting and drainage and after each wetting the MRC was determined. From the results it was found that in the three fractions of aggregates of sandy loam soil the MRCs and pore size distribution were similar to MRC and pore size distribution of sand with the same particle size distribution. In the clay loam soil the wetting entailed a change of porosity. More specifically caused the reduction of pores with large radius and increased microporosity.

In addition in the fraction of aggregates (0.25-0.5 mm) of the clay loam soil the MRC and pore size distribution were different from the others MRCs. This may due to the destruction of this size fraction of aggregates during the wetting.

Key words: Aggregates, soil moisture retention curve

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ύπαρξη των εδαφικών συσσωματωμάτων και ιδιαίτερα η σταθερότητά τους αποτελούν κρίσιμες παραμέτρους σε ένα μεγάλο εύρος γεωργικών εφαρμογών. Η εκτίμηση αυτών των παραμέτρων μπορεί να βοηθήσει στην πρόβλεψη της διάβρωσης των εδαφών από την δράση του νερού και του αέρα. Υπάρχουν αρκετοί τρόποι και μέθοδοι για να εκτιμηθεί η σταθερότητα των συσσωματωμάτων. Η κατανομή του μεγέθους των ξηρών συσσωματωμάτων μπορεί να βοηθήσει στην πρόβλεψη της διάβρωσης λόγω του αέρα ενώ ο προσδιορισμός της σταθερότητας στη διαβροχή ισως είναι καταλληλότερος για την πρόβλεψη της διάβρωσης λόγω της βροχόπτωσης και της επιφανειακής απορροής. Επίσης η μελέτη των συσσωματωμάτων μπορεί να βοηθήσει στην κατανόηση πληθώρας διεργασιών που αφορούν τον σχηματισμό επιφανειακής κρούστας στο έδαφος, την διήθηση και ανακατανομή του εδαφικού νερού, τον αερισμό του εδάφους κ.λ.π.

Η σταθερότητα των συσσωματωμάτων εξαρτάται από φυσικούς, χημικούς και βιολογικούς παράγοντες. Για την αξιολόγηση της σταθερότητας τους έχουν χρησιμοποιηθεί διάφοροι δείκτες οι οποίοι ενσωματώνουν όλους τους παραπάνω παράγοντες. (Bissonnais Y. LE., 1996; Dimoyiannis et.al. 1998)

Οι δυνάμεις που συνδέουν τα εδαφικά τεμαχίδια προς συσσωματώματα εξαρτώνται σε σημαντικό βαθμό από την περιεκτικότητα τους σε νερό. Όμως σημαντικό ρόλο παίζει και ο τρόπος διαβροχής τους (Kemper and Chepil, 1965; Kemper and Koch, 1966).

Για τον προσδιορισμό της σταθερότητας των συσσωματωμάτων οι συνηθέστερες μέθοδοι που χρησιμοποιούνται είναι: 1) Η μέθοδος του υγρού κοσκινίσματος. Κατά την μέθοδο αυτή ένα δείγμα συσσωματωμάτων συγκεκριμένου μεγέθους τοποθετείται στο ανώτερο μιας σειράς κοσκίνων με φθίνουσα διάμετρο οπών τα οποία κινούνται παλινδρομικά μέσα στο νερό. Με το τέλος της διαδικασίας αυτής υπολογίζεται η εναπομένουσα ποσότητα σε κάθε κόσκινο και εκτιμάται έτσι η σταθερότητα των συσσωματωμάτων στη διαβροχή (Nimmo J.R. and Perkins K.S. 2002). 2) Η μέθοδος του ξηρού κοσκινίσματος. Κατ' αυτήν την μέθοδο αεροξηρανθέντα δείγματα τοποθετούνται σε σύστημα περιστροφικών κοσκίνων διαφορετικών ανοιγμάτων όπου στο τέλος της διαδικασίας ζυγίζεται σε κάθε κόσκινο το βάρος κάθε κλάσματος συσσωματωμάτων. Αρχικά χρησιμοποιήθηκε το κλάσμα των συσσωματωμάτων σε κάθε κόσκινο σαν δείκτης της μηχανικής σταθερότητας (Chepil, 1953) αλλά σχετικά πρόσφατα οι {Perfect et.al., (1998) πρόσθεσαν σαν δείκτη της σταθερότητας την ενέργεια που απαιτείται για το σπάσιμο των συσσωματωμάτων. 3) Η μέθοδος της τεχνητής βροχής. Ο Fares (1980) διερεύνησε την επίδραση των χαρακτηριστικών της τεχνητής βροχής (μέγεθος σταγόνων, διάρκεια βροχής) στην σταθερότητα των συσσωματωμάτων.

Η χαρακτηριστική καμπύλη υγρασίας (ΧΚΥ) και ειδικά η περιοχή των φορτίων πίεσης κοντά στο κορεσμό έχει χρησιμοποιηθεί από την δεκαετία του 1940 για την εκτίμηση της σταθερότητας των συσσωματωμάτων στη διαβροχή (Childs 1940, 1942). Κατά την μέθοδο αυτή οι αλλαγές που παρατηρούνται σε αυτή την περιοχή της ΧΚΥ μεταξύ δύο διαφορετικών μεταχειρίσεων των συσσωματωμάτων μπορεί να αποτελέσουν δείκτη της σταθερότητας των συσσωματωμάτων. Πιο συγκεκριμένα στην μία περίπτωση η διαβροχή των συσσωματωμάτων έγινε αργά διαμέσου της πορώδους κάψας μιας συσκευής Haines ενώ στην άλλη περίπτωση η ίδια ποσότητα συσσωματωμάτων πριν προσδιοριστεί η ΧΚΥ είχε εμβαπτιστεί απότομα σε νερό. Έτσι μελετώντας τις αλλαγές στην κατανομή του μεγέθους των πόρων μεταξύ των δύο μεταχειρίσεων, όπως αποκαλύπτονται από την ΧΚΥ, μπορεί να εξαχθούν συμπεράσματα για τα συσσωματώματα. Ο αδιάστατος δείκτης προσδιορισμού της σταθερότητας είναι ο λόγος h_1/h_0, όπου h_0 η τιμή της μέγιστης κλίσης της ΧΚΥ κατά την πρώτη στράγγιση και h_1 κατά την δεύτερη στράγγιση,και κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 0 και 1.

Με την ίδια μέθοδο μπορεί να εκτιμηθεί η σταθερότητα των συσσωματωμάτων μετά από διαδοχικούς κύκλους διαβροχής και ξήρανσης τους. Ο προσδιορισμός των αλλαγών της κατανομής του μεγέθους των πόρων σ' ένα δείγμα κλάσματος συσσωματωμάτων μετά από διαδοχικές διαβροχές του μας δίνει ένα μέτρο εκτιμήσεως της σταθερότητας των συσσωματωμάτων γιατί μετά από κάθε διαβροχή ένα μέρος από τα συσσωματώματα καταστρέφεται και δίνει μικρότερα συσσωματώματα και απλούς εδαφικούς κόκκους.

Οι Collis-George and Figueroa (1984) στηριγμένοι στην εργασία του Childs εισήγαγαν την έννοια του δείκτη δομής (Structural index). Ο δείκτης αυτός μπορεί να αποκτηθεί από την ΧΚΥ και είναι ο λόγος του όγκου του νερού που στραγγίζει μεταξύ του φορτίου πίεσης Η=0 και του μικρότερου φορτίου Η προς την απόλυτη τιμή του φορτίου πίεσης στο σημείο αντιστροφής της ΧΚΥ (inflection point). Ο δείκτης δομής μπορεί να συγκριθεί με τον δείκτη δομής ο οποίος αποκτήθηκε για το ίδιο κλάσμα συσσωματωμάτων αλλά με διαφορετική μεταχείριση π.χ γρήγορη διαβροχή. Επίσης για σύγκριση μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ο δείκτης δομής ενός υλικού με σταθερή δομή π.χ άμμος ίδιου κλάσματος κόκκων. Η σταθερότητα των συσσωματωμάτων μπορεί να υπολογιστεί από τον λόγο των δύο δεικτών δομής για τις δύο μεταχειρίσεις των συσσωματωμάτων και ο λόγος αυτός καλείται σχέση σταθερότητας (stability ratio). Οι τιμές της σχέσης σταθερότητας κυμαίνονται μεταξύ του 0 και του1. Τιμές της σχέσης σταθερότητας κοντά στην μονάδα υποδηλώνουν μέγιστη σταθερότητα των συσσωματωμάτων.

Στην παρούσα εργασία θα εξεταστούν οι μέθοδοι του Childs και Collis-George and Figueroa ως προς τα αποτελέσματα που δίνουν για την σταθερότητα των συσσωματωμάτων σε ένα αμμοπηλώδες και ένα αργιλοπηλώδες έδαφος.

2. Υλικά και Μέθοδοι

2.1. Περιγραφή εδαφών

Η πειραματική εργασία έγινε σε δύο εδάφη και μία άμμο. Στον πίνακα 1 δίνονται η μηχανική σύστασή τους, η οργανική ουσία, η περιεκτικότητα σε ανθρακικό ασβέστιο, το pH και η ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων (ΙΑΚ).

Πίνακας 1.Μηχανική ανάλυση, ΙΑΚ, $CaCO_3$, pH και οργανική ουσία των δύο εδαφών.

Τύπος εδάφους	Αμμος %	Ιλύς %	Αργιλος %	CaCO3 %	Οργανική ουσία (κ.β)%	ΙΑΚ (meq/100gr)	pH
Αμμοπηλώδες	51.4	30.3	19.3	25.6	2.06	26.3	7.95
Αργιλοπηλώδες	44.4	24.6	31	0	1.48	26.3	6.87

2.2 Πειραματική διαδικασία

Για τον διαχωρισμό των συσσωματωμάτων σε κατηγορίες μεγέθους τα εδάφη αφέθηκαν να αεροξηρανθούν. Στην συνέχεια τα εδάφη τοποθετήθηκαν στην επάνω επιφάνεια μιας στήλης από κόσκινα που είχαν άνοιγμα οπών 2 mm, 1.2 mm, 0.5mm και 0.25mm. Έτσι από κάθε έδαφος ελήφθησαν τρεις κατηγορίες μεγέθους συσσωματωμάτων: i) Από 1.2 mm εως 2 mm ii) Από 0.5 mm εως 1.2 mm και iii) Από 0.25 mm εως 0.5 mm.

Επίσης τα ίδια κλάσματα σε διαστάσεις κόκκων ελήφθησαν και από άμμο.

Για τον προσδιορισμό των ΧΚΥ κάθε κλάσματος χρησιμοποιήθηκε η συσκευή Haines. Κάθε κλάσμα συσσωματωμάτων τοποθετήθηκε και πακεταρίστηκε σε μια συσκευή Haines. Η διαβροχή των συσσωματωμάτων έγινε με την βοήθεια μιας στήλης Mariotte. Στην συνέχεια επακολούθησε η πρώτη αποστράγγιση μέχρι φορτίο πίεσης 45 cm. Μετά έγινε η δεύτερη διαβροχή και επακολούθησε η δεύτερη στράγγιση. Ακολούθως έγινε η τρίτη διαβροχή και στράγγιση. Έτσι για κάθε κλάσμα συσσωματωμάτων πραγματοποιήθηκαν τρείς διαβροχές και στραγγίσεις.

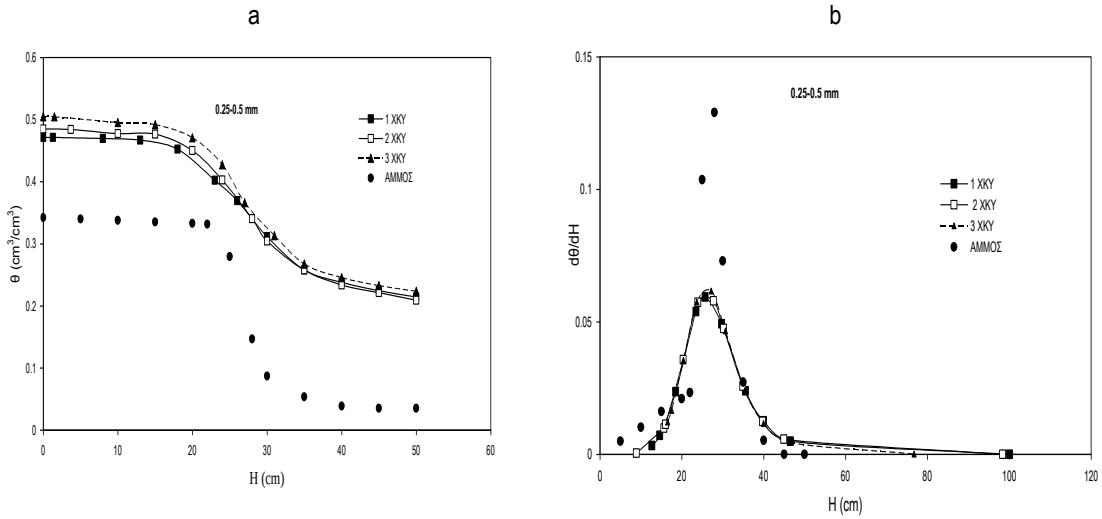
Στα αντίστοιχα κλάσματα της άμμου πραγματοποιήθηκε ένας κορεσμός και μία στράγγιση.

Μετά τον προσδιορισμό των τριών ΧΚΥ για κάθε κλάσμα έγινε προσαρμογή των πειραματικών δεδομένων στην εξίσωση van Genuchten (1980) με την βοήθεια του προγράμματος RETC (Van Genuchten et. al., 1991). Από την σύγκριση των κλίσεων των τριών ΧΚΥ κάθε κλάσματος μπορούν να εξαχθούν άμεσα συμπεράσματα για την κατανομή του μεγέθους των πόρων και την ανθεκτικότητα των συσσωματωμάτων στη διαβροχή.

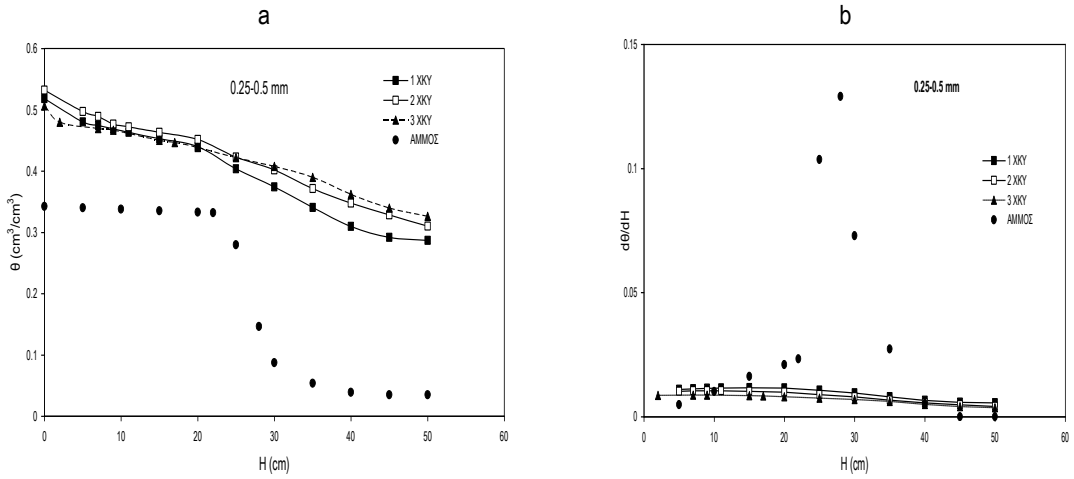
Επίσης η εκτίμηση της σταθερότητας των συσσωματωμάτων έγινε και με την μέθοδο των Collis George and Figueroa (1984). Για κάθε κλάσμα εδάφους βρήκαμε από την ΧΚΥ τον δείκτη δομής (structural index). Στην συνέχεια ο δείκτης δομής διαιρέθηκε με τον δείκτη δομής του ίδιου κλάσματος της άμμου. Από τον λόγο αυτόν προκύπτει η σχέση σταθερότητας (stability ratio) κάθε κλάσματος συσσωματωμάτων ενός εδάφους ως προς την άμμο.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Στο σχήμα 1a παρουσιάζονται οι τρεις ΧΚΥ για το κλάσμα 0.25-0.5 mm στο αμμοπηλώδες έδαφος και η ΧΚΥ για το ίδιο κλάσμα της άμμου. Όπως φαίνεται οι τρείς ΧΚΥ των διαδοχικών διαβροχών-στραγγίσεων στο έδαφος δεν παρουσιάζουν κάποια σημαντική διαφορά και οι κλίσεις των ΧΚΥ είναι σχεδόν ίδιες (σχήμα 1b). Επίσης οι ΧΚΥ και οι κατανομές των πόρων μοιάζουν με της άμμου, παρά το γεγονός ότι το έδαφος συγκρατεί πολύ μεγαλύτερο ποσοστό υγρασίας. Συνεπώς αυτό το κλάσμα συσσωματωμάτων στο συγκεκριμένο έδαφος παρουσιάζει μεγάλη σταθερότητα. Τα ίδια αποτελέσματα προκύπτουν και από την εφαρμογή της μεθόδου των Collis George and Figueroa όπου ο stability ratio είναι περίπου 1. Ο αντίστοιχος structural index για το έδαφος είναι 0.010 ενώ για την άμμο 0.011. Ιδια σχεδόν αποτελέσματα προκύπτουν και για τα υπόλοιπα κλάσματα συσσωματωμάτων του ίδιου εδάφους.



Σχήμα 1. a.*Οι τρεις ΧΚΥ των διαδοχικών αποστραγγίσεων του κλάσματος 0.25-0.5 mm καθώς και η ΧΚΥ του αντίστοιχου κλάσματος της άμμου b.Οι κατανομές των πόρων των ΧΚΥ του αμμοπηλώδους εδάφους και της άμμου.*



Σχήμα 2. a.*Οι τρεις ΧΚΥ των διαδοχικών αποστραγγίσεων του κλάσματος 0.25-0.5 mm καθώς και η ΧΚΥ του αντίστοιχου κλάσματος της άμμου b.Οι κατανομές των πόρων των ΧΚΥ του αργιλοπηλώδους εδάφους και της άμμου.*

Στο σχήμα 2a παρουσιάζονται οι ΧΚΥ για το ίδιο κλάσμα συσσωματωμάτων για το αργιλοπηλώδες έδαφος και την άμμο. Από τα αποτελέσματα φαίνεται ότι η ΧΚΥ του συγκεκριμμένου κλάσματος συσωματωμάτων διαφέρει σημαντικά από αυτήν της άμμου. Αντίθετα οι άλλες δύο κατηγορίες συσσωματωμάτων (1.2-2 και 0.5-1.2 mm) παρουσιάζουν ίδιας μορφής ΧΚΥ με αυτές της άμμου.Το γεγονός αυτό μπορεί να υποδηλώνει ότι η σταθερότητα των συσσωματωμάτων του συγκεκριμμένου εδάφους μπορεί να αυξάνει όσο αυξάνει το μέγεθος των συσσωματωμάτων. Από το σχήμα 2a φαίνεται ότι οι επαναδιαβροχές προκαλούν μια συνεχή μεταβολή του πορώδους που εκδηλώνεται με την μείωση των πόρων μεγάλης ακτίνας και αύξηση των πόρων μικρής ακτίνας. Οι μεταβολές αυτές έχουν σαν αποτέλεσμα την βαθμιαία αύξηση της περιεκτικότητας των δειγμάτων σε νερό στην πίεση των 50 cm. Στο σχήμα 2b παρουσιάζονται οι κατανομές των πόρων των ΧΚΥ του εδάφους και της άμμου. Από τα αποτελέσματα φαίνεται ότι ότι η κατανομή των πόρων είναι τελείως διαφορετική μεταξύ του εδάφους και της άμμου. Μάλιστα τα αποτελέσματα είναι διαφορετικά συγκριτικά με αυτά στο αμμοπηλώδες έδαφος. Η τιμή του stability ratio γι' αυτό το κλάσμα συσσωματωμάτων του αργιλοπηλώδους εδάφους είναι 0,88-0,9 Έτσι φαίνεται ότι τα συσσωματώματα αυτά έχουν μικρότερη σταθερότητα συγκριτικά από αυτά της ίδιας κλάσης του αμμοπηλώδους εδάφους.

Από τα πειραματικά αποτελέσματα φαίνεται ότι η εφαρμογή διαδοχικών κύκλων διαβροχής και στράγγισης μπορεί να αποτελέσει μέτρο της εκτίμησης της σταθερότητας των συσωματωμάτων.

Πρέπει να υπογραμμισθεί όμως ότι στην εργασία αυτή η διαβροχή των συσσωματωμάτων στον κορεσμό δεν διήρκησε μεγάλο χρονικό διάστημα (περίπου μισή ώρα κάθε φορά). Έτσι είναι αναγκαίο να εξεταστεί και η περίπτωση κατά την οποία τα συσσωματώματα θα εκτεθούν στην δράση του νερού μεγαλύτερα χρονικά διαστήματα . Επίσης είναι αναγκαίο στα εδάφη τα οποία έχουν μεγάλη περιεκτικότητα σε άμμο να υπάρχει εκτίμηση του μεγέθους των κόκκων της άμμου για πιο εμπεριστατωμένη εκτίμηση των αποτελεσμάτων.

4. Βιβλιογραφία

Περιοδικά

Bissonais Y. LE. 1996. Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility: I. Theoty and methodology. European J. of Soil Sci. 425-437.

Chepil , W.S.1953. Field structure of cultivated soils with special reference to erodibility by wind. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 17:185-190.

Childs E.C. 1940. The use of soil moisture characteristics in soil studies. Soil Sci. 50:239-252.

Childs E.C. 1942.Stability of clay soils. Soil Sci. 53:79-92.

Collis-George N. And B.S. Figueroa. 1984. The use of high energy moisture characteristic to assess soil stability. Aust. J. Soil Res. 22:349-356.

Dimoyiannis D.G., Tsadilas C.D. and Valmis S. 1998. Factors affecting aggregate instability of Greek agricultural soils. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 1239-1251.

Farres P.J. 1980. Some observations on the stability of soil aggregates to raindrop impact. Catena 7:223-231.

Kemper W.D. and W.S. Chepil 1965. Size distribution of aggregates p.499-510. In C.A.Black (ed) Methods of soil analysis. Part 1. Agron. Mnogr. 9. ASA Madison, WI.

Kemper W.D. and E.J. Koch. 1966. Aggregate stability of soils from the western portions of the United States and Canada. USDA Tech. Bull. 1355. U.S. Gov. Print. Office, Washington, DC.

Perfect E., Q. Zhai and R.L. Blevins. 1998. Estimation of Weibull brittle fracture parameters for heterogeneous materials Soil Sci. Soc. Am. J. 62:1212-1219.

van Genuchten M. Th., 1980. *A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils.* Soil Sci. Soc. Am. Journal 44, 892-898.

van Genuchten MT, Leij FJ, Yates SR. 1991. *The RETC code for quantifying the hydraulic functions of unsaturated soils. U.S.D.A.*, Riverside, California.

Κεφάλαια βιβλίων

Nimmo J.R and Perkins K.S. 2002. Aggregate stability and size distribution In: Dane J. and Topp G.C (Co-editors). Methods of Soil Analysis, Part 4, Physical Methods, Soil Science Society of America, Inc., pp317-328.

ΟΡΙΟΘΕΤΗΣΗ ΥΔΑΤΟΡΕΜΑΤΟΣ ΜΙΚΡΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΧΩΡΙΣ ΥΔΡΟΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΜΕ ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ

Σταύρος Γιαννόπουλος[1], Ευαγγελία Πουρναρά[1], Χρήστος Τζιμόπουλος[1], Χρήστος Ευαγγελίδης[1]
[1]Εργαστήριο Υδραυλικών Έργων και Διαχείρισης Περιβάλλοντος, Τμήμα Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τ.Κ. 54124 Θεσσαλονίκη

Η οριοθέτηση των υδατορεμάτων στην Ελλάδα πραγματοποιείται σύμφωνα με το νόμο 3010/2002. Οι σχετικές μελέτες απαιτούν λεπτομερείς υδρολογικούς και υδραυλικούς υπολογισμούς. Κρίσιμη παράμετρο του προβλήματος αποτελεί ο καθορισμός της παροχής σχεδιασμού (παροχή αιχμής), καθώς στις περισσότερες περιπτώσεις στα υδατορέματα (μόνιμης και εφήμερης ροής) υπάρχει έλλειψη υδρομετρήσεων, οπότε η βαθμονόμηση ενός μοντέλου για τις υφιστάμενες συνθήκες δεν είναι εφικτή. Για τον καλύτερο προσδιορισμό των σχετικών παραμέτρων πρέπει να χρησιμοποιούνται προηγμένες υπολογιστικές μέθοδοι. Η χρήση των Ψηφιακών Μοντέλων Εδάφους (DEM) και των GIS διευκολύνουν τον καθορισμό των μορφολογικών χαρακτηριστικών και των τιμών των κατανεμημένων παραμέτρων για την εκτίμηση της παροχής σχεδιασμού. Τα λογισμικά ArcGIS και RMS for AUTOCAD της BOSS είναι ιδιαίτερα χρήσιμα σε μελέτες οριοθέτησης υδατορεμάτων.

Λέξεις κλειδιά: υδατόρεμα, λεκάνη απορροής, οριοθέτηση, Γ.Σ.Π., παροχή σχεδιασμού, συνθετικά υδρογραφήματα

WATERCOURSE DEMARCATION IN A SMALL UNGAUGED WATERSHED WITH MODERN METHODS

Stavros Yannopoulos[1], Evaggelia Pournara[1], Christos Tzimopoulos[1], Christos Evaggelidis[1]
[1]Laboratory of Hydraulic Works and Environmental Management, Department of Rural and Surveying Engineering, Aristotle University of Thessaloniki, GR-54124 Thessaloniki, Greece

giann@vergina.eng.auth.gr; evag_pournara@hotmail.com; tzimop@eng.auth.gr; evan@vergina.eng.auth.gr

Stream demarcation in Greece is realized in accordance to Law 3010/2002. Relevant studies require detailed hydrological and hydraulic calculations. Critical parameter of the problem is the determination of the design discharge. It is a difficult problem, since in most cases there is a lack of hydrometric measurements for both permanent and ephemeral flow streams. As a result the calibration of any model for the existing conditions is not feasible. In order to identify better the relevant parameters, advanced computational methods should be used. The use of Digital Elevation Models (DEM) and G.I.S. facilitate the determination of the morphological characteristics and the values of distributed parameters for the estimation of design discharge. The ArcGIS software and RMS for AUTOCAD of BOSS is particularly useful in studies of stream demarcation.

Key words: watercourse, watershed, demarcation, G.I.S., design discharge, synthetic hydrographs

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα υδατορέματα (μη πλεύσιμοι ποταμοί, χείμαρροι, ρέματα και ρυάκια) που βρίσκονται εντός ή εκτός ρυμοτομικού σχεδίου ή εντός οικισμών που δεν έχουν ρυμοτομικό σχέδιο οριοθετούνται σύμφωνα με το ν. 3010/2002 (άρθρο 5). Η οριοθέτηση συνίσταται στον καθορισμό και στην επικύρωση των πολυγωνικών γραμμών εκατέρωθεν της βαθιάς γραμμής του υδατορέματος, οι οποίες περιβάλλουν τις γραμμές της πλημμύρας, τις όχθες, καθώς και τα τυχόν φυσικά και τεχνητά στοιχεία, που αποτελούν μέρος του ρέματος. Η οριοθέτηση ενός υδατορέματος είναι καθοριστικής σημασίας θέμα και για την αντιπλημμυρική προστασία μιας περιοχής, εφόσον προστατεύει την περιοχή του υδατορέματος από εξωτερικές επεμβάσεις.

Η μελέτη οριοθέτησης ενός υδατορέματος απαιτεί λεπτομερείς υδρολογικούς και υδραυλικούς υπολογισμούς. Για τη γενική διάταξη των έργων κρίσιμη παράμετρο αποτελεί ο καθορισμός της παροχής σχεδιασμού (παροχή αιχμής). Στην περίπτωση των λεκανών απορροής χωρίς υδρομετρήσεις ο καθορισμός της παροχής αυτής είναι ένα δύσκολο πρόβλημα, καθώς στις περισσότερες περιπτώσεις στα υδατορέματα, μόνιμης και εφήμερης ροής, υπάρχει έλλειψη υδρομετρήσεων, οπότε η βαθμονόμηση ενός μοντέλου για τις υφιστάμενες συνθήκες δεν είναι εφικτή.

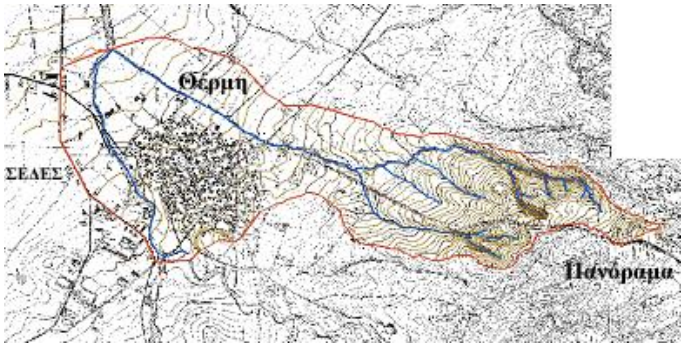
Οι απαραίτητες μελέτες απαιτούν εκτεταμένη και προσεκτική εξέταση των περιβαλλοντικών και υδραυλικών συνθηκών, υφιστάμενων και προβλεπόμενων, τόσο της κοίτης, όσο και της λεκάνης απορροής του υδατορέματος. Για τον καλύτερο προσδιορισμό των παραμέτρων θα πρέπει να χρησιμοποιούνται προηγμένες υπολογιστικές μέθοδοι.

Στις μελέτες οριοθέτησης των υδατορεμάτων η χρήση Ψηφιακών Μοντέλων Εδάφους (Ψ.Μ.Ε., D.E.M.) και G.I.S. μπορούν να διευκολύνουν στον καθορισμό των μορφολογικών χαρακτηριστικών και των κατανεμημένων τιμών των παραμέτρων για την εκτίμηση των παροχών σχεδιασμού. Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκαν τα λογισμικά ArcGIS v.9.2 της ESRI και RMS (River Modeling System) for AUTOCAD της BOSS. Ο υπολογισμός της πλημμύρας σχεδιασμού έγινε με τη βοήθεια συνθετικών υδρογραφημάτων για βροχές σχε-

διασμού διάρκειας 3, 6, 12 και 24 hrs. Η εφαρμογή πραγματοποιήθηκε στο υδατόρεμα Βαθύλακος στο τμήμα του που βρίσκεται στα διοικητικά όρια του Δήμου Θέρμης και το οποίο ανήκει στη λεκάνη απορροής του ποταμού Ανθεμούντα. Τα λογισμικά ArcGIS v.9.2 της ESRI και RMS for AUTOCAD της BOSS είναι ιδιαίτερα χρήσιμα σε μελέτες οριοθέτησης υδατορεμάτων.

2. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

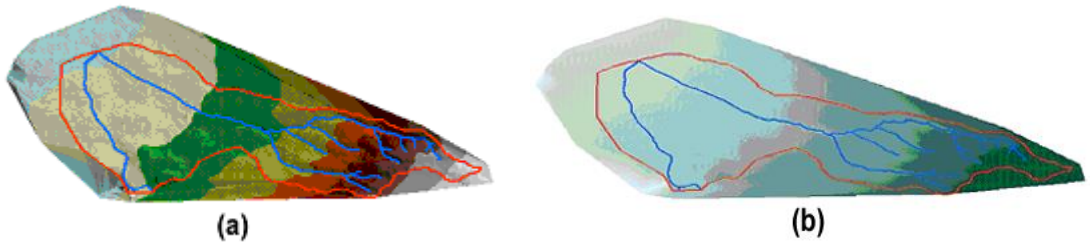
Η περιοχή μελέτης ανήκει στα διοικητικά όρια του Δήμου Θέρμης και υπάγεται στο Υδατικό Διαμέρισμα 10 της Κεντρικής Μακεδονίας. Εκτείνεται από τον ημιορεινό όγκο του Πανοράματος με κατεύθυνση προς την πεδινή έκταση του Δήμου Θέρμης στη δυτική πλευρά του οικισμού αυτής. Στο Σχήμα 1 απεικονίζονται με πορτοκαλί χρώμα τα όρια της λεκάνης απορροής, η οποία διασχίζεται από δύο κύριους χειμάρρους που συμβάλλουν νότια του οικισμού της Θέρμης. Η έκταση της λεκάνης απορροής ανέρχεται σε 4.03 Km^2.



Σχήμα 1. Η περιοχή μελέτης σε τοπογραφικό διάγραμμα κλίμακας 1:5000 της Γ.Υ.Σ.

3. ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΨΗΦΙΑΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ ΑΠΟ ΙΣΟΫΨΕΙΣ ΚΑΜΠΥΛΕΣ

Στην παρούσα εργασία ως τοπογραφικό υπόβαθρο χρησιμοποιήθηκαν τοπογραφικά διαγράμματα κλίμακας 1:5.000 της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού (Γ.Υ.Σ). Το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε είναι το ArcMap v. 9.2 της ESRI, που μπορεί να δημιουργήσει και να διαχειριστεί Ψηφιακά Μοντέλα Εδάφους μορφής TIN και GRID. Η διαδικασία που ακολουθήθηκε είναι (Πουρναρά, 2011, Γιαννόπουλος κ.α., 2011): (α) Γεωαναφορά διαγραμμάτων στο προβολικό σύστημα ΕΓΣΑ ’87. (β) Ψηφιοποίηση των κύριων και δευτερευουσών ισοϋψών καμπυλών (ισοδιάσταση 20 m και 4 m, αντιστοίχως) και σχεδίαση των χαρακτηριστικών γραμμών αλλαγής κλίσης (breaklines), που στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι οι κλάδοι του υδρογραφικού δικτύου. Στις περιοχές με έντονο ανάγλυφο, όπως είναι π.χ. οι χαράδρες έγινε πύκνωση των υψομετρικών σημείων. Για την ψηφιοποίηση ελήφθη υπόψη η διακριτική ικανότητα του ανθρώπινου ματιού (± 0,25 mm) (Παπαδοπούλου, 2010). Κατ’ αυτό τον τρόπο δημιουργήθηκε το Ψ.Μ.Ε. μορφής TIN, το οποίο διορθώθηκε στις θέσεις των βυθίσεων (pits) και των οριζόντιων τριγώνων (flat triangles). (γ) Δημιουργία Ψ.Μ.Ε. μορφής TIN. (δ) Δημιουργία Ψ.Μ.Ε. μορφής GRID. Για τις περιοχές, που υπήρξε αδυναμία των Ψ.Μ.Ε. να περιγράψουν τη μορφή του εδάφους, ελήφθησαν επιπλέον στοιχεία με μετρήσεις στο ύπαιθρο. Στα Σχήματα 2 (α) και (β) απεικονίζονται τα Ψ.Μ.Ε. της λεκάνης απορροής σε μορφή TIN και GRID, αντιστοίχως.



Σχήμα 2. Ψηφιακά Μοντέλα Εδάφους της λεκάνης απορροής σε μορφή: (α) TIN και (β) GRID, στα οποία απεικονίζονται ο υδροκρίτης και το υδρογραφικό δίκτυο.

4. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΠΑΡΟΧΗΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

Η παροχή σχεδιασμού (παροχή αιχμής) ενός υδραυλικού έργου είναι μια πολύ σημαντική παράμετρος για τον υδραυλικό μηχανικό και μπορεί να υπολογιστεί, εφόσον υπάρχουν μετρήσεις βροχής-απορροής. Το πρόβλημα καθίσταται δύσκολο, όταν πρόκειται για λεκάνες απορροής χωρίς τέτοιες μετρήσεις, αφού η βαθμονόμηση ενός μοντέλου βροχής-απορροής δεν είναι δυνατή. Για τις περιπτώσεις αυτές έχουν παρουσιαστεί στη διεθνή βιβλιογραφία διάφορα συνθετικά μοναδιαία υδρογραφήματα (Snyder, SCS, Clark, κ.λπ.), που βασίζονται σε σχέσεις, οι οποίες συσχετίζουν τις παραμέτρους του μοναδιαίου υδρογραφήματος με τα φυσικά χαρακτηριστικά της λεκάνης απορροής. Οι εμπειρικές αυτές σχέσεις ισχύουν για συγκεκριμένες συνθήκες.

Στην Ελλάδα οι τεχνικές προδιαγραφές εκπόνησης υδρολογικών μελετών (άρθρα 177-194, Π. Δ. 696/1974, ΦΕΚ 301/τ.Α/8.10.1974) αφορούν στα εγγειοβελτιωτικά έργα (άρθρο 177, παρ. 1), αλλά μπορούν να εφαρμοστούν γενικά με εξειδικεύσεις, συμπληρώσεις και περικοπές και σε οποιαδήποτε άλλη περίπτωση υπό προϋποθέσεις (άρθρο 194). Για τις πλημμυρικές παροχές (άρθρο 186) ορίζουν ότι υπολογίζονται με μεθόδους που μπορούν να χρησιμοποιηθούν κατά περίπτωση και ανταποκρίνονται στη φύση και στη σημασία των έργων που μελετούνται κάθε φορά και συγκεκριμένα, γίνεται αναφορά: (α) σε εμπειρικές μεθόδους, (β) σε στατιστικές μεθόδους, (γ) στην ορθολογική μέθοδο, (δ) στη μέθοδο χάραξης των ισόχρονων καμπυλών και (ε) σε υδρομετεωρολογικές μεθόδους. Σε γενικές γραμμές, τα ανωτέρω δημιουργούν αβεβαιότητες, τόσο ως προς τις μεθόδους που πρέπει να εφαρμοστούν κάθε φορά, όσο και λόγω της έλλειψης, στις περισσότερες περιπτώσεις, υδρομετρικών και βροχομετρικών δεδομένων.

Κατά την άποψη μας τα σύνθετα υδρολογικά συστήματα πρέπει να αναλύονται με τη χρήση υδρογραφημάτων και όχι απλώς με τη χρήση εμπειρικών σχέσεων (ορθολογική μέθοδο, κ.λπ.). Στην παρούσα εργασία προτιμήθηκε ο υπολογισμός των υδρογραφημάτων σχεδιασμού από όμβριες καμπύλες και το συνθετικό μοναδιαίο υδρογράφημα της SCS.

4.1. Περίοδος επαναφοράς πλημμύρας και βροχής σχεδιασμού

Με τον όρο βροχή/πλημμύρα σχεδιασμού νοείται συνήθως η βροχή/παροχή εκείνη της οποίας το συνολικό ύψος/παροχή αιχμής έχει μια συγκεκριμένη περίοδο επαναφοράς, *T*. Αυτό σημαίνει ότι θα παρουσιαστεί ύψος βροχής/παροχής μεγαλύτερο από εκείνο της βροχής/παροχής σχεδιασμού κατά μέσο όρο μια φορά στα *T* χρόνια της ζωής του έργου. Έτσι, λοιπόν, η πιθανότητα υπέρβασης, *p*, του ύψους της βροχής σχεδιασμού σε ένα δεδομένο έτος θα είναι 1/*T*. Σημειώνεται ότι το μέγεθος της περιόδου επαναφοράς είναι απλά και μόνο ένα στατιστικό μέγεθος. Στη διεθνή και στην ελληνική βιβλιογραφία υπάρχει διχογνωμία ως προς την ταύτιση ή όχι των περιόδων επαναφοράς βροχής και πλημμύρας σχεδιασμού. Συγκεκριμένα, οι Sutcliffe (1978), Παπαμιχαήλ (2001), Γεωργίου κ.α. (2003), κ.λπ. θεωρούν ότι υπάρχει αντιστοιχία ανάμεσα στις δύο περιόδους επαναφοράς, ενώ οι Larson and Reich (1973), Κουτσογιάννης (2004), κ.λπ. θεωρούν ότι η ανωτέρω διαφοροποίηση δεν είναι σωστή και ότι κατά μέσο όρο οι δύο περίοδοι επαναφοράς συμπίπτουν. Στην παρούσα εργασία ακολουθήθηκε η άποψη του Sutcliffe (1978). Η περίοδος επαναφοράς της πλημμύρας σχεδιασμού δεν καθορίζεται από το ν.3010/2002, τις ισχύουσες ελληνικές προδιαγραφές κ.λπ. Υπάρχει, όμως μια τάση στις σχετικές μελέτες για πραγματοποίηση των υπολογισμών για περίοδο επαναφοράς 50 ετών, που αντιστοιχεί (Sutcliffe, 1978) σε περίοδο επαναφοράς 81 ετών της βροχής σχεδιασμού.

4.2. Χρόνος συγκέντρωσης, t_c

Ο χρόνος συγκέντρωσης είναι η πιο κρίσιμη παράμετρος για τον καθορισμό της παροχής σχεδιασμού. Με τον όρο χρόνος συγκέντρωσης θεωρείται ο χρόνος που χρειάζεται το νερό για να κινηθεί από το υδραυλικά πιο απομακρυσμένο σημείο μιας λεκάνης μέχρι το στόμιο αυτής (Westphal, 2001). Στον ορισμό αυτό το πιο απομακρυσμένο σημείο σχετίζεται με το χρόνο ροής και όχι με την απόσταση. Σύμφωνα με τους Pilgrim and Cordery (1993), πιθανώς ένας καλύτερος ορισμός είναι ότι χρόνος συγκέντρωσης είναι ο χρόνος μετά την έναρξη της περίσσειας βροχής μέχρις ότου όλα τα τμήματα της λεκάνης απορροής συμβάλλουν ταυτόχρονα στη ροή στο στόμιο αυτής. Αν και οι ορισμοί αυτοί είναι ελκυστικοί και απλοί, στην πραγματικότητα αποτελούν εξιδανικευμένες έννοιες, αφού δεν υπάρχει ένας πρακτικός τρόπος μέτρησης του χρόνου συγκέντρωσης.

Για την εκτίμηση του χρόνου συγκέντρωσης έχει παρουσιαστεί στη διεθνή βιβλιογραφία ένας σημαντικός αριθμός εμπειρικών σχέσεων, που έχουν προκύψει για συγκεκριμένες λεκάνες απορροής και υδρολογικές συνθήκες. Μια συγκέντρωση τέτοιων σχέσεων δίνεται από τους Chow et al. (1988). Στην Ελλάδα οι πιο δημοφιλείς σχέσεις για τον προσδιορισμό του χρόνου συγκέντρωσης είναι οι τύποι του Kirpich και του Giandotti, οι οποίοι προβλέπονται και από τις ισχύουσες προδιαγραφές (Π.Δ. 696/1974). Από τους τύπους αυτούς, ο πρώτος πρέπει να εφαρμόζεται μόνο σε απλές λεκάνες ή σε λεκάνες που εμφανίζουν μόνο μία κύρια μισγάγγεια και δεν αποτελούνται από περισσότερες της μίας σημαντικές υπολεκάνες (άρθρο 187 §3), ενώ ο δεύτερος μπορεί να εφαρμοστεί σε πεδινές περιοχές έκτασης μέχρι το πολύ 13km^2 μέχρι την εξεταζόμενη διατομή του υδατορεύματος, για απλές λεκάνες και φυσική κοίτη ακανόνιστης διατομής (άρθρο 187 §4). Ο τύπος Giandotti δίνει υψηλότερες τιμές για το χρόνο συγκέντρωσης σε σχέση με τον τύπο Kirpich, αλλά χρησιμοποιείται εκτενώς στην Ελλάδα. Στην παρούσα εργασία για τον υπολογισμό του χρόνου συγκέντρωσης, t_c, χρησιμοποιήθηκε ο τύπος του Giandotti:

$$t_c = \frac{4\sqrt{A} + 1.5\,L}{0.8\sqrt{\Delta H}} \qquad (1)$$

όπου A = το εμβαδόν της λεκάνης απορροής (km^2), L = το μήκος της κύριας κοίτης [km] και ΔH = υψομετρική διαφορά του μέσου υψομέτρου της λεκάνης από το υψόμετρο του στομίου εξόδου αυτής [m].

4.3. Διάρκεια βροχής σχεδιασμού

Η επιλογή της διάρκειας βροχής σχεδιασμού είναι ιδιαίτερα σημαντική και, σε γενικές γραμμές, πρέπει να είναι τουλάχιστον ίση με το χρόνο απορροής της λεκάνης, ώστε να μπορεί να υπολογιστεί η πλημμυρική παροχή. Οι Levy and McCuen (1999) απέδειξαν ότι βροχή 24 hrs είναι ικανοποιητικής διάρκειας για λεκάνες απορροής στο Maryland των Η.Π.Α. επιφάνειας από 5-130 km^2. Για

τον ελληνικό χώρο οι Γιακουμάκης και Γεωργιάδου (2005) μελέτησαν τα πλημμυρικά μεγέθη λεκανών απορροής της Ν. Άνδρου χρησιμοποιώντας βροχή σχεδιασμού διάρκειας 12 hrs. Ο Κουτσογιάννης (2004) για τη μελέτη του ρέματος της Φιλοθέης χρησιμοποίησε διάρκεια βροχής 9 hrs, οι Γεωργίου κ. ά. (2003) για τη μελέτη των αιχμών απορροής σε 4 λεκάνες της Χαλκιδικής θεώρησαν διάρκειες βροχής 3.00 hrs, 3.50 hrs, 4.50 hrs και 5.00 hrs.

Για την επιλογή της βροχής σχεδιασμού πρέπει να ελέγχονται διάφορες διάρκειες και να επιλέγεται αυτή που οδηγεί στην δυσμενέστερη περίπτωση. Σύμφωνα με τον Τσακίρη (1995) για τον ελληνικό χώρο αντί για διάρκεια βροχής 24 hrs μπορεί ο έλεγχος να γίνεται για βροχή 12 hrs, γιατί συνήθως οι λεκάνες είναι μικρές και το ανάγλυφο αρκετά έντονο. Το ΥΠΕΧΩΔΕ (2002) θεωρεί ότι βροχοπτώσεις διάρκειας 24 hrs είναι μια λογική επιλογή για λεκάνες απορροής των οποίων η διάρκεια βροχής είναι μεγαλύτερες από το χρόνο συγκέντρωσης. Σημειώνεται, ότι κατά τη μέθοδο της κατάρτισης της βροχής σχεδιασμού, η διάρκεια της βροχής θα πρέπει να λαμβάνεται σημαντικό πολλαπλάσιο (αρκετά μεγαλύτερο του διπλασίου) του χρόνου υστέρησης της λεκάνης.

4.4. Το υετογράφημα σχεδιασμού

Η χρονική κατανομή της βροχής σχεδιασμού είναι σημαντική για το παραγόμενο υδρογράφημα πλημμύρας. Πράγματι, δυο βροχοπτώσεις με ίδιο ύψος βροχής αλλά με διαφορετική κατανομή στην ίδια διάρκεια δίνουν διαφορετικά υδρογραφήματα πλημμύρας. Η χρονική κατανομή της βροχής σχεδιασμού μπορεί να γίνει με δυο μεθόδους δηλαδή με: (α) τις καταιγίδες σχεδιασμού (καμπύλες Huff, συνθετικά υετογραφήματα της SCS, κ.λπ.) (Chow et al., 1988) και (β) τις όμβριες καμπύλες. Τα υετογραφήματα σχεδιασμού που προκύπτουν από τις όμβριες καμπύλες υπερτερούν σε σχέση με τις τυποποιημένες βροχές σχεδιασμού, γιατί βασίζονται αποκλειστικά σε δεδομένα της περιοχής μελέτης και όχι σε δεδομένα άλλων περιοχών με διαφορετικό υδρολογικό καθεστώς.

Μεταξύ των διαφόρων μεθόδων κατανομής της βροχής σχεδιασμού οι πιο δημοφιλείς είναι η μέθοδος των εναλλασσόμενων υψών (alternating block method) (Chow et al., 1988) και της δυσμενέστερης διάταξης του υετογραφήματος σχεδιασμού (worst profile distribution) (USDI, 1977). Η μέθοδος των εναλλασσομένων υψών βροχής τοποθετεί την αιχμή του υετογραφήματος στο κέντρο της βροχόπτωσης, ενώ η μέθοδος της δυσμενέστερης διάταξης συνδυάζει μαθηματικά την κατανομή της βροχής με το μοναδιαίο υδρογράφημα, ώστε να παράγει μέγιστη αιχμή του πλημμυρογραφήματος. Σύμφωνα με τον Westphal (2001) στη μέθοδο των εναλλασσομένων υψών η επιλογή του χρονικού βήματος Δt πρέπει να γίνεται με βάση τη σχέση:

$$\frac{t_c}{5} \le \Delta t \le \frac{t_c}{3} \qquad (2)$$

όπου t_c είναι ο χρόνος συγκέντρωσης.

4.5. Μοναδιαίο Υδρογράφημα

Όταν είναι απαραίτητο το Μοναδιαίο Υδρογράφημα (Μ.Υ.) σε μια λεκάνη απορροής χωρίς υδρομετρήσεις, τότε για τον υπολογισμό του χρησιμοποιείται μια από τις μεθόδους των Συνθετικών Μοναδιαίων Υδρογραφημάτων (Σ.Μ.Υ.), όπως π.χ. είναι του Nash, Dooge, Snyder, Clark, SCS, κ.λπ. Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε το αδιάστατο Μοναδιαίο Υδρογράφημα της Soil Conservation Service (SCS), το οποίο είναι ένα από τα συνηθέστερα εφαρμοζόμενα για τον υπολογισμό Συνθετικών Μοναδιαίων Υδρογραφημάτων (Σ.Μ.Υ.), που εφαρμόζεται γενικά σε μικρές λεκάνες απορροής εκτάσεως μέχρι 50 km^2 (20mi^2) (SCS, 1972). Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή, η παροχή αιχμής, Q_p [m^3/s/cm] ενός μοναδιαίου υδρογραφήματος για διάρκειας βροχής t_r (hr) δίνεται από τη σχέση $Q_p = 2.08\, A/t_p$, όπου A = το εμβαδό της λεκάνης απορροής [km^2], t_c = ο χρόνος συγκέντρωσης [hr] και t_p = ο χρόνος αιχμής [hr], που υπολογίζεται με τη σχέση $t_p = 0.6\, t_c + 0.5\, t_r$. Οι τεταγμένες του Μοναδιαίου Υδρογραφήματος υπολογίζονται με τις σχέσεις $Q = Q_d\, Q_p$ και $t = t_d\, t_p$ όπου Q = παροχή του Μ.Υ. [m^3/s], Q_p = παροχή αιχμής [m^3/s], t = χρόνος του μοναδιαίου υδρογραφήματος , t_p = χρόνος αιχμής, Q_d και t_d = αδιάστατη παροχή και αδιάστατος χρόνος που λαμβάνονται από πίνακα (Brass, 1990).

4.6. Εφαρμογή

Ο υπολογισμός της παροχής σχεδιασμού έγινε με βάση τα υδρογραφήματα πλημμύρας σχεδιασμού. Συγκεκριμένα, για βροχές σχεδιασμού διάρκειας 3, 6, 12 και 24 hrs υπολογίστηκαν τα ύψη βροχής με βάση την εξίσωση:

$$i = \frac{16.510168\, T^{0.1919}}{(t + 0.07461)^{0.7621}}, \quad R^2 = 0.9979$$

όπου i = ένταση βροχής [mm/hr], T = περίοδος επαναφοράς [yr], t = διάρκεια της βροχής [hr] και R^2 = συντελεστής προσδιορισμού.

Ο υπολογισμός του πλημμυρογραφήματος σχεδιασμού στο στόμιο της λεκάνης απορροής έγινε για δύο περιπτώσεις δηλαδή για: (α) το σύνολο της λεκάνης απορροής (Περίπτωση Ι) και (β) καθεμία υπολεκάνη (Σχήμα 3) ξεχωριστά και στη συνέχεια, υπολογισμό του πλημμυρογραφήματος απορροής με βάση τα πλημμυρογραφήματα απορροής που προέκυψαν για τις Υπολεκάνες 1 και 2 και την εφαρμογή της αρχής της επαλληλίας (Περίπτωση ΙΙ).

Σχήμα 3. Υπολεκάνες απορροής της περιοχής μελέτης

Και στις δύο περιπτώσεις, έγινε η κατανομή της βροχής σχεδιασμού με τη μέθοδο των εναλλασσομένων υψών βροχής, για τις διάρκειες βροχής που εξετάστηκαν και υπολογίστηκε η καθαρή (περίσσεια) βροχής με βάση τη μέθοδο του συντελεστή απορροής *CN* της S.C.S. (Chow et al., 1988). Ο υπολογισμός του CN έγινε με βάση τις χρήσεις γης της περιοχής μελέτης και τη χρήση του λογισμικού ArcGIS της ESRI, στο οποίο έγινε η εισαγωγή του shapefile corine land cover (http://geodata.gov.gr/geodata/) και συγκεκριμένα, του Φύλλου Χάρτη «Θεσσαλονίκη». Η περίοδος επαναφοράς της πλημμύρας σχεδιασμού ελήφθη ίση με 50 έτη, που αντιστοιχεί σε περίοδο επαναφοράς της βροχής σχεδιασμού 81 έτη (Sutcliffe, 1978). Ο χρόνος συγκέντρωσης, t_c, σύμφωνα με την εξίσωση (1) είναι για ολόκληρη τη λεκάνη απορροής 2.326 hrs, ενώ για τις υπολεκάνες 1 και 2 είναι 1.979 και 2.151 hrs αντιστοίχως. Ο συντελεστής απορροής *CN* εκτιμήθηκε σε 67, 66 και 68 για ολόκληρη τη λεκάνη και τις υπολεκάνες 1 και 2 αντιστοίχως. Το χρονικό βήμα Δt για όλες τις περιπτώσεις που εξετάστηκαν ελήφθη ίσο με 0.50 hr, σύμφωνα με την εξίσωση (2).

Σύμφωνα με την ανάλυση που έγινε, η παροχή σχεδιασμού ελήφθη ίση με 4.50 m^3/s, που αντιστοιχεί σε διάρκεια βροχής 24 hrs και προέκυψε από την περίπτωση II. Οι υδραυλικοί υπολογισμοί έγιναν με τη βοήθεια του λογισμικού RMS for Autocad της BOSS.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η οριοθέτηση ενός υδατορέματος αποτελεί ένα σύνθετο πρόβλημα, που συνίσταται στον καθορισμό και στην επικύρωση των πολυγωνικών γραμμών εκατέρωθεν της βαθιάς γραμμής του υδατορέματος, οι οποίες περιβάλλουν τις γραμμές πλημμύρας, τις όχθες, καθώς και τα τυχόν φυσικά ή τεχνητά στοιχεία, που αποτελούν αναπόσπαστο μέρος του υδατορέματος. Κατ' αυτή την έννοια, λοιπόν, η οριοθέτηση ενός υδατορέματος είναι καθοριστικής σημασίας για την αντιπλημμυρική προστασία μιας περιοχής, εφόσον προστατεύει την περιοχή του υδατορέματος από εξωτερικές επεμβάσεις και γι' αυτό με την οριοθέτηση θα πρέπει να προστατεύεται θεσμικά η καθορισμένη ζώνη και να λαμβάνεται υπόψη στις πολεοδομικές και χωροταξικές μελέτες.

Στην παρούσα περίπτωση διαπιστώθηκε ανεπάρκεια παροχετευτικότητας του υδατορέματος που εξετάστηκε σε ορισμένες διατομές αυτού, γι αυτό προτάθηκαν βελτιώσεις και διευθετήσεις σε συγκεκριμένες θέσεις αυτού. Οι προτάσεις που έγιναν είναι φιλικές επεμβάσεις προς το περιβάλλον, που έχουν στόχο την απρόσκοπτη ροή των υδάτων, τη διατήρηση της φυσικής κοίτης, την προστασία του φυσικού περιβάλλοντος και του μικροκλίματος της περιοχής (Πουρναρά, 2011).

Διαπιστώθηκε ότι απαιτείται αναθεώρηση του ν. 3010/2002, ώστε να λαμβάνονται υπόψη στη μελέτη οριοθέτησης τα μέτρα, οι όροι, οι περιορισμοί και οι δεσμεύσεις που τυχόν προβλέπονται: (α) στο σχέδιο διαχείρισης της λεκάνης απορροής ποταμού, στην οποία υπάγεται το προς οριοθέτηση υδατόρεμα και (β) στο σχέδιο διαχείρισης των κινδύνων πλημμύρας της λεκάνης απορροής της περιοχής ενδιαφέροντος και στους χάρτες κινδύνου και επικινδυνότητας πλημμύρας (άρθρα 5 και 6, Κ.Υ.Α 31822/1542/2010), σε συνδυασμό με τις γενικότερες αρχές περιβαλλοντικού σχεδιασμού. Επίσης, απαιτείται αναθεώρηση των τεχνικών προδιαγραφών εκπόνησης υδρολογικών μελετών (άρθρα 177-194, Π. Δ. 696/1974 Π. Δ.), οι οποίες αφορούν σε εγγειοβελτιωτικά έργα (άρθρο 177, παρ. 1), γεγονός που, κατά κάποιον τρόπο, συνεπάγεται ένα βαθμό αβεβαιότητας στους σχετικούς υπολογισμούς, τόσο ως προς τις μεθόδους που πρέπει να εφαρμοστούν κάθε φορά, όσο και λόγω της έλλειψης υδρομετρικών και βροχομετρικών δεδομένων. Τέλος, διαπιστώθηκε, ότι τα λογισμικά ArcGIS v.9.2 της ESRI και RMS for AUTOCAD της BOSS είναι ιδιαίτερα χρήσιμα σε μελέτες οριοθέτησης υδατορεμάτων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Γεωργίου, Π. Ε., Παπαμιχαήλ, Δ. Μ., Καραμούζης, Δ. Ν., 2003. Συγκριτική ανάλυση των εκτιμήσεων των αιχμών απορροής με συνθετικά μοναδιαία υδρογραφήματα και με εμπειρικές σχέσεις. Πρακτικά 3ου Πανελλήνιου Συνεδρίου Γεωργικής Μηχανικής, σελ. 11-19, 29-31 Μαΐου 2003, Θεσσαλονίκη.

Γιακουμάκης, Σ., Γεωργιάδου, Κ., 2005. Πλημμυρικά μεγέθη σε λεκάνες απορροής της Ν. Άνδρου με σημαντικούς οικισμούς. Πρακτικά 5ου Συνεδρίου Ε,Ε.Δ.Υ.Π., σελ. 147-152, 6-9 Απριλίου 2005, Ξάνθη.

Γιαννόπουλος, Σ., Χρηστίδης, Χ., Λουκάς, Α., 2011. Διερεύνηση της Ακρίβειας των Ψηφιακών Μοντέλων Εδάφους (DEM) – Συγκριτική Αξιολόγηση Μεθόδων. Πρακτικά 7ου Εθνικού Συνεδρίου Ε.Γ.Μ.Ε., 24-27 Νοεμβρίου, Αθήνα.

Κουτσογιάννης, Δ., 2004. Ερευνητικό Έργο: «Διερεύνηση και αντιμετώπιση προβλημάτων ευστάθειας των πρανών και του πυθμένα του ρέματος της Φιλοθέης με τη χρήση μαθηματικών μοντέλων και σύγχρονων περιβαλλοντικών τεχνικών» (Επιστ. Υπεύθ. Α. Στάμου). Τεύχος «Υδρολογική Μελέτη Πλημμυρών». Ε.Μ.Π., Αθήνα.

Παπαδοπούλου, Μ., 2010. Εισαγωγή στη Χαρτογραφία. Πανεπιστημιακές Παραδόσεις, Τμήμα Εκδόσεων Α.Π.Θ.

Παπαμιχαήλ, Δ., 2001. Τεχνική Υδρολογία Επιφανειακών Υδάτων. Εκδόσεις Γιαχούδη-Γιαπούλη. Θεσσαλονίκη.

Πουρναρά, Ε., 2011. Οριοθέτηση Υδατορέματος Μικρής Λεκάνης Απορροής χωρίς Υδρομετρήσεις με τη χρήση Σύγχρονων Μεθόδων. Μεταπτυχιακή Διατριβή. Τ.Α.Τ.Μ./Α.Π.Θ., Π.Μ.Σ. «Γεωπληροφορική», Ειδίκευση «Υδατικοί Πόροι».

Τσακίρης Γ., 1995. Πλημμυρικές Απορροές. Υδατικοί Πόροι: Ι. Τεχνική Υδρολογία (Υπεύθυνος Έκδοσης: Γ. Τσακίρης). Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα, 393-423.

ΥΠΕΧΩΔΕ, 2002. Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων (ΟΜΟΕ). Τεύχος 8: Αποχέτευση-Στράγγιση. Υδραυλικά Έργα Οδών (ΟΜΟΕ-ΑΣΥΕΟ). Αθήνα.

Brass, R.L., 1990. Hydrology: An Introduction to Hydrologic Science. Addison-Wesley Pub. Co.

Chow, V. T., Maidment, D. R., Mays, L. W., 1988. Applied Hydrology. McGraw-Hill.

Larson, C. L., Reich, B. M., 1973. Relationship of observed rainfall and runoff recurrence intervals. Proceedings of 2nd International Symposium in Hydrology, September 11-13, 1972, Fort Collins, Colorado, U.S.A.

Levy, B., McCuen, R., 1999. Assessment of storm duration for hydrologic design. J. of Hydrol. Engin., 4(3): 209-213.

Pilgrim, D.H., Cordery, I., 1993. Flood Runoff. In: Maidment, D.R. (editor in Chief) Handbook of Hydrology. McGraw-Hill, Inc., pp. 9.1-9.42.

SCS (Soil Conservation Service), 1972. National Engineering Handbook, Section 4, U.S. Department of Agriculture, Washington, D.C.

Sutcliffe, J. V., 1978. Methods of Flood Estimation. A Guide to the Flood Studies. Report. No. 49. Institute of Hydrology. Wallingford. Oxon. U.K.

USDI, 1977. Design of Arch Dams. Design Manual for Concrete Arc Dams. A Water Resources Technical Publication. U.S. Department of the Interior, Bureau of Reclamation, Denver, CO

Wetsphal, D. A., 2001. Hydrology for Drainage System Design and Analysis. In: L. W. Mays (Editor) Stormwater Collection Systems Design Handbook. McGraw-Hill, pp. 4.1-4.44.

ΔΙΔΙΑΣΤΑΤΗ ΚΑΙ ΤΡΙΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΗΣ ΕΔΑΦΙΚΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ

Ιωάννης Γράβαλος[1], Θεόδωρος Γιαλαμάς[1], Σπύρος Λουτρίδης[2], Δημήτριος Κατέρης[1], Ζήσης Τσιρόπουλος[1], Ευάγγελος Μπόμπολας[1], Παναγιώτης Ξυραδάκης[1], Αυγουστίνος Αυγουστή[1], Αναστάσιος Γεωργιάδης[1]
[1]Τμήμα Μηχανικής Βιοσυστημάτων, Σχολή Τεχνολογίας Γεωπονίας,
Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Λάρισας, Λάρισα, Τ.Κ. 41110
[2]Τμήμα Ηλεκτρολογίας, Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών,
Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Λάρισας, Λάρισα, Τ.Κ. 41110

Στην εργασία αυτή, παρουσιάζεται ένα πρωτότυπο σύστημα μέτρησης της εδαφικής υγρασίας, που επιτρέπει τη σύνθεση διδιάστατων (2Δ) και τριδιάστατων (3Δ) εδαφικών τομών μεγάλης ακρίβειας. Πρόκειται για μία κινούμενη πλατφόρμα, η οποία αποτελείται από δύο τροχοφόρες βάσεις και έναν αισθητήρα εδαφικής υγρασίας. Οι τροχοφόρες βάσεις και ο αισθητήρας συνδέονται μεταξύ τους μέσω αρθρώσεων. Η κινούμενη πλατφόρμα φέρει τον αισθητήρα εδαφικής υγρασίας, Diviner 2000 της εταιρείας Sentek Pty Ltd., ο οποίος τροποποιήθηκε κατάλληλα για να γίνει η ζεύξη. Η πλατφόρμα κινούμενη εντός ενός δικτύου υπόγειων αγωγών καταγράφει σε πραγματικό χρόνο τις μεταβολές της εδαφικής υγρασίας κατά μήκος, κατά πλάτος και σε διαφορετικά βάθη. Τα δεδομένα αυτά, με την κατάλληλη ανάλυση και επεξεργασία παρέχουν διδιάστατους και τριδιάστατους χάρτες με την χωρική και χρονική κατανομή της εδαφικής υγρασίας. Η αξιολόγηση της νέας αυτής μεθόδου καθώς και η ικανότητα της πλατφόρμας να κινείται και να συλλέγει δεδομένα εντός δικτύου υπόγειων αγωγών, πραγματοποιήθηκε σε συνθήκες εργαστηρίου.

Λέξεις κλειδιά: εδαφική υγρασία, διδιάστατη και τριδιάστατη απεικόνιση, αισθητήρας, γεωργία ακριβείας

TWO-DIMENSIONAL AND THREE-DIMENSIONAL SOIL WATER IMAGING

Ioannis Gravalos[1], Theodoros Gialamas[1], Spyros Loutridis[2], Dimitrios Kateris[1], Zisis Tsiropoulos[1], Evagelos Bompolas[1], Panagiotis Xyradakis[1], Augoustinos Augousti[1], Anastasios Georgiadis[1]
[1]Department of Biosystems Engineering, School of Agricultural Technology,
Technological Educational Institute of Larissa, GR-41110, Larissa, Greece
[2]Department of Electrical Engineering, School of Technological Applications,
Technological Educational Institute of Larissa, GR-41110, Larissa, Greece
gravalos@teilar.gr

In this study, a prototype soil water measurement system is presented, that allows the creation of two-dimensional (2D) and three dimensional (3D) images with high accuracy. It is a mobile platform, which comprises of two wheeled bases and a soil water sensor. The wheeled bases and the sensor are linked via universal joints. The mobile platform bears the modified commercial soil water sensor Diviner 2000 (Sentek Pty Ltd.). The mobile platform travels through a subsurface piping network and records soil water content variations in length, width and at different depths in real-time. These data, after the proper processing and analysis can provide two-dimensional and three-dimensional maps of the spatial and temporal distribution of soil water content. Experiments were carried out in laboratory conditions.

Key words: soil water, two-dimensional and tree-dimensional imaging, sensor, precision agriculture

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η μέτρηση της εδαφικής υγρασίας και η παρακολούθηση της κατανομής της στο χώρο και στο χρόνο, αποτελούν βασική μέθοδο στην πρακτική των αρδεύσεων, διασφαλίζοντας τη διατήρηση της υγρασίας του εδάφους σε ένα εύρος τιμών και αναπληρώνοντας την κατανάλωση του νερού από τα φυτά, με άρδευση. Για τη μέτρηση της εδαφικής υγρασίας χρησιμοποιούνται διάφορες μέθοδοι, που διακρίνονται σε άμεσες και έμμεσες. Η κυριότερη μέθοδος άμεσου προσδιορισμού της εδαφικής υγρασίας είναι η θερμοβαρυμετρική.

Οι έμμεσες μέθοδοι προσδιορισμού της εδαφικής υγρασίας βασίζονται στη μέτρηση διαφορετικών ιδιοτήτων του εδάφους, οι οποίες συναρτώνται με την εδαφική υγρασία. Σ' αυτές περιλαμβάνονται: η μέθοδος νετρονίων και οι διηλεκτρικές μέθοδοι (Muñnoz-Carpena, 2004; Hanumantha Rao and Singh, 2011).

Με την κατηγορία των μεθόδων, που βασίζονται σε διηλεκτρικές τεχνικές, εκτιμάται η περιεχόμενη εδαφική υγρασία, μετρώντας τη διηλεκτρική σταθερά του εδάφους. Οι μέθοδοι αυτές έτυχαν γρήγορα ευρείας αποδοχής επειδή παρουσιάζουν καλό χρόνο απόκρισης, δεν απαιτούν συντήρηση και δίνουν συνεχείς αναγνώσεις. Μεταξύ αυτών περιλαμβάνονται: η μέθοδος ανακλομέτρησης χρόνου (TDR), η μέθοδος ανακλομέτρησης συχνότητας (FDR), η μέθοδος μέτρησης μετατόπισης φάσης (PT) κ.ά. (Evett et al., 2006; Gravalos et al., 2007).

Το σημαντικό μειονέκτημα των προαναφερθέντων μεθόδων και οργάνων μέτρησης της εδαφικής υγρασίας είναι ο πολύ μικρός όγκος (κλίμακα μερικών εκατοστών) της περιοχής παρατήρησης, δηλαδή πρόκειται για σημειακές μεθόδους παρακολούθησης της εδαφικής υγρασίας (Γράβαλος κ.ά., 2006). Με τις μεθόδους αυτές, η

διαδικασία χαρτογράφησης της περιεχόμενης εδαφικής υγρασίας μεγαλύτερων περιοχών είναι δύσκολη και ιδιαιτέρως χρονοβόρα. Επομένως, είναι απαραίτητο να αναπτυχθούν νέες τεχνικές που να προσδιορίζουν επιτυχώς την εδαφική υγρασία σε μεγάλη κλίμακα (δεκαμετρική ή εκατομετρική). Μια τέτοια τεχνική συνδέεται με τη χρήση δικτύων αισθητήρων εδαφικής υγρασίας για υψηλή χωρική κάλυψη. Σημαντικό μειονέκτημα ενός δικτύου αισθητήρων είναι η πολυπλοκότητα και το υψηλό κόστος εγκατάστασης και συντήρησης (Cardell-Oliver et al., 2005).

Τα τελευταία χρόνια, για τη χαρτογράφηση και απεικόνιση της εδαφικής υγρασίας χρησιμοποιήθηκαν διάφορες γεωφυσικές μέθοδοι, όπως είναι: τα ραντάρ υπεδάφους (ground penetrating radar, GPR), της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής (electromagnetic induction, EMI) και της γεωηλεκτρικής τομογραφίας (electrical resistivity tomography, ERT). Οι δύο πρώτες μέθοδοι είναι μη επεμβατικές, που όμως έχουν υψηλό κόστος και επιπλέον οι χάρτες που προκύπτουν απεικονίζουν την χωρική κατανομή της εδαφικής υγρασίας τη δεδομένη χρονική στιγμή που πραγματοποιήθηκαν (Grote et al., 2003; Abdu et al., 2007). Από τις γεωφυσικές μεθόδους που χρησιμοποιείται ευρύτερα είναι η ERT, η οποία είναι επίσης γνωστή και ως "μέθοδος συνεχούς ρεύματος" (Loke and Barker, 1996; Schwartz et al., 2008; Besson et al., 2010). Τέλος, η τεχνολογία της τηλεπισκόπησης έχει τη δυνατότητα να παρέχει χωροχρονικά δεδομένα για τις μεταβολές της εδαφικής υγρασίας. Υπάρχουν δύο μέθοδοι τηλεπισκόπησης που εφαρμόζονταν για το σκοπό αυτό, η παθητική ραδιομετρική τηλεπισκόπηση και η ενεργή τηλεπισκόπηση. Όμως, οι τιμές των μοντέλων προσομοίωσης, που χρησιμοποιούνται, μπορεί να μην είναι αντιπροσωπευτικές σε μεγάλες περιφερειακές κλίμακες (Moran, et al., 2004).

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι η ανάπτυξη ενός συστήματος (πλατφόρμας και αισθητήρα), το οποίο κινούμενο εντός ενός δικτύου υπόγειων αγωγών να καταγράφει σε πραγματικό χρόνο τις μεταβολές της εδαφικής υγρασίας κατά μήκος, κατά πλάτος και σε διαφορετικά βάθη της καλλιεργούμενης έκτασης. Τα δεδομένα αυτά, με την κατάλληλη ανάλυση και επεξεργασία παρέχουν διδιάστατους και τριδιάστατους χάρτες με την χωρική και χρονική κατανομή της εδαφικής υγρασίας (διδιάστατη & τριδιάστατη τομογραφία εδαφικής υγρασίας).

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

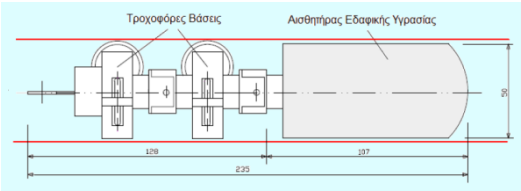
2.1. Το σχέδιο της κινούμενης πλατφόρμας

Η ανάπτυξη της κινούμενης πλατφόρμας περιλάμβανε τρία διαφορετικά στάδια: α) τη σχεδίαση των τροχοφόρων βάσεων, β) τη σχεδίαση των ηλεκτρονικών κυκλωμάτων, που επιτρέπουν την οδήγηση της πλατφόρμας με εντολές, που δίνονται από έναν επίγειο σταθμό και γ) τη σχεδίαση του λογισμικού, που επιτρέπει τη γραφική διασύνδεση μεταξύ χρήστη και κινούμενης πλατφόρμας (Gravalos et al., 2010).

Το μήκος της κινούμενης πλατφόρμας είναι 235 mm και η εξωτερική διάμετρος μπορεί να μεταβάλλεται από 48 mm μέχρι 54 mm (Εικόνα 1). Η κινούμενη πλατφόρμα αποτελείται από δύο τροχοφόρες βάσεις και έναν αισθητήρα εδαφικής υγρασίας. Οι τροχοφόρες βάσεις και ο αισθητήρας συνδέονται μεταξύ τους μέσω αρθρώσεων Hooke. Προκειμένου οι αρθρώσεις να λειτουργούν σωστά, πρέπει να εμφανίζουν ισοδύναμες γωνίες εισόδου και εξόδου. Επίσης, τα δίκρανα των αρθρώσεων πρέπει να συναρμολογηθούν με τρόπο που να βρίσκονται πάντα στο ίδιο επίπεδο. Το σώμα των τροχοφόρων βάσεων είναι κυκλικό, ώστε η πλατφόρμα να κινείται με ευελιξία εντός των αγωγών. Οι κινητήριοι τροχοί στηρίζονται με τη βοήθεια ελατηριωτής ανάρτησης. Αυτό το σύστημα ανάρτησης επιτρέπει την κίνηση των τροχών μόνο ως προς την κάθετη διεύθυνση. Η εκτροπή της ελατηριωτής ανάρτησης επιτρέπει τη δημιουργία πτυσσόμενων χαρακτηριστικών στους κινητήριους τροχούς, ώστε να βρίσκονται σε διαρκή επαφή με τα τοιχώματα του αγωγού. Στα ευθύγραμμα τμήματα των αγωγών, η κινούμενη πλατφόρμα καθοδηγείται από τα τοιχώματα των αγωγών. Η οδήγηση στις διακλαδώσεις γίνεται με τη διαφορική δράση των αποσβεστήρων και της ταχύτητας περιστροφής των κινητήριων τροχών. Δύο ηλεκτρικοί κινητήρες, που είναι τοποθετημένοι επί των κινητήριων τροχών, θέτουν σε κίνηση την πλατφόρμα. Οι τροχοί φέρουν ελαστικούς δακτυλίους με υψηλό συντελεστή τριβής, με αποτέλεσμα η προσκόλληση μεταξύ των κινητήριων τροχών της πλατφόρμας και τοιχωμάτων των αγωγών να βελτιώνεται σημαντικά. Με τον τρόπο αυτό, η κινούμενη πλατφόρμα είναι σε θέση να συγκρατείται σταθερά και να κινείται ομαλά πάνω στη εσωτερική επιφάνεια των αγωγών. Επίσης, η κατανομή του φορτίου στους τροχούς είναι πιο ομοιόμορφη. Για την επανάκτηση της πλατφόρμας από το δίκτυο των αγωγών, προβλέπεται ένας μηχανισμός περιελίξεως καλωδίου εγκαταστημένος επί της εισόδου των αγωγών προκειμένου να έλκουμε την πλατφόρμα προς τα έξω σε ασυνήθιστες καταστάσεις. Η κίνηση της πλατφόρμας, σε διακλαδώσεις ορθής γωνίας είναι δύσκολο να πραγματοποιηθεί, με την υπάρχουσα σχέση του μήκους ως προς το πλάτος. Επομένως, η καμπυλότητα στο τέλος των αγωγών είναι μία πολύ σημαντική τεχνική παράμετρος, που πρέπει να λάβουμε υπόψη μας κατά την σχεδίαση του δικτύου των υπόγειων αγωγών, ώστε τα επιμέρους στοιχεία που συνθέτουν την κινούμενη πλατφόρμα (τροχοφόρες βάσεις και αισθητήρας εδαφικής υγρασίας) να μπορούν να περάσουν τις διακλαδώσεις με επιτυχία. Η μαθηματική ανάλυση της κινηματικής των κινητήριων τροχών και της ακτίνας περιστροφής της κινούμενης πλατφόρμας περιγράφονται διεξοδικά στην εργασία Gravalos et al. (2012).

Η κινούμενη πλατφόρμα φέρει τον αισθητήρα εδαφικής υγρασίας, Diviner 2000 της εταιρείας

Sentek Pty Ltd. (2007), ο οποίος τροποποιήθηκε κατάλληλα για να γίνει η ζεύξη. Τα κριτήρια επιλογής του συγκεκριμένου αισθητήρα εδαφικής υγρασίας ήταν η ικανοποιητική ακρίβεια και επαναληψιμότητα των μετρήσεων, το σχήμα και οι μικρές διαστάσεις που του επιτρέπουν να κινείται εύκολα εντός των πλαστικών αγωγών. Σύμφωνα με την εταιρεία κατασκευής, ο αισθητήρας μπορεί να ανιχνεύσει την εδαφική υγρασία έξω από τον πλαστικό σωλήνα πρόσβασης, σε μήκος 100 mm και ακτίνα 50-100 mm. Ωστόσο, υπάρχουν νεώτερες μελέτες, που δείχνουν ότι η χωρική ευαισθησία του συγκεκριμένου αισθητήρα περιορίζεται σε ακτίνα 40 mm γύρω από το σωλήνα πρόσβασης (Muñnoz-Carpena, 2004). Για τη βαθμονόμηση του αισθητήρα χρησιμοποιήθηκαν οι σχέσεις: $SF=(Fa-Fs)/(Fa-Fw)$ και $\theta v=aSF^b$ όπου, SF η ανηγμένη συχνότητα, Fs, Fw και Fa είναι οι τιμές της συχνότητας στο έδαφος, σε μη αλατούχο νερό και στον αέρα αντιστοίχως.



Εικόνα 1. Το σχέδιο της κινούμενης πλατφόρμας και του αισθητήρα εδαφικής υγρασίας (Gravalos et al., 2012).

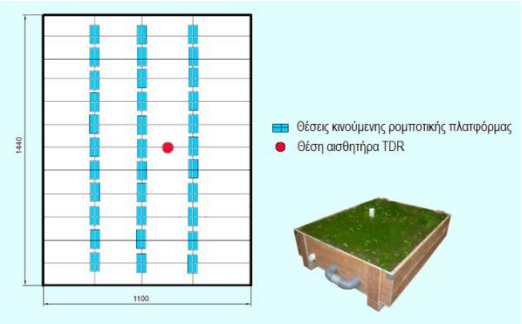
Προκειμένου να ελαχιστοποιηθούν οι διαστάσεις της κινούμενης πλατφόρμας, τα ηλεκτρονικά κυκλώματα τοποθετήθηκαν στον επίγειο σταθμό. Τα ηλεκτρονικά κυκλώματα περιέχουν τους απαραίτητους οδηγούς των ηλεκτρικών κινητήρων. Πρόκειται για τα ολοκληρωμένα κυκλώματα L297 και L298 (SGS-Thomson). Η ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα ρυθμίζεται από ένα απλό ποτενσιόμετρο. Η κατεύθυνση κίνησης ελέγχεται από ένα μονοπολικό διακόπτη δύο δρόμων (SPDT). Μία σειρά οπτικών ενδείξεων παρέχουν πληροφόρηση σχετικά με την εκτελούμενη διαδικασία.

2.2. Πειραματική διάταξη

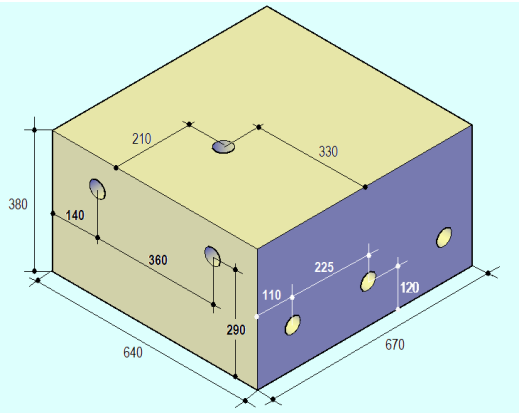
Για τα πειράματα, χρησιμοποιήθηκαν δύο εδαφολεκάνες διαφορετικών διαστάσεων, σειρά άκαμπτων πλαστικών (PVC) αγωγών πρόσβασης, η κινούμενη πλατφόρμα με τον αισθητήρα εδαφικής υγρασίας Diviner 2000 και ο αισθητήρας TRIME-T3 (IMKO Micromodultechnik GmbH, 2000) ως αισθητήρας αναφοράς. Στην πρώτη εδαφολεκάνη (Εικόνα 2) όλοι οι αγωγοί τοποθετήθηκαν στο ίδιο βάθος (15 cm), ενώ στη δεύτερη εδαφολεκάνη (Εικόνα 3) οι αγωγοί τοποθετήθηκαν σε διαφορετικά βάθη (9 cm και 26 cm) κάτω από την επιφάνεια του εδάφους. Το έδαφος που χρησιμοποιήθηκε για όλα τα πειράματα ήταν μέσης μηχανικής σύστασης (Gravalos et al., 2012).

Στο εργαστήριο εξετάστηκαν περισσότερες περιπτώσεις μελέτης από τις οποίες αναφέρουμε ενδεικτικά μόνο δύο. Στην περίπτωση μελέτης Ι, αρδεύτηκε ολόκληρη η επιφάνεια της πρώτης εδαφολεκάνης με τη μέθοδο της κατάκλυσης. Συνολικά εφαρμόστηκαν 40 l νερού. Η εφαρμογή του νερού έγινε με ομοιόμορφο τρόπο τις πρώτες πέντε ημέρες (δηλαδή 8 l ανά ημέρα). Ακολούθησε η μέτρηση και καταγραφή της εδαφικής υγρασίας για διάστημα εννέα εβδομάδων. Στη περίπτωση μελέτης ΙΙ, έγινε καταγραφή της εδαφικής υγρασίας στη δεύτερη εδαφολεκάνη, σε διαφορετικά επίπεδα και για διάστημα ενός μήνα. Σε αυτήν την περίπτωση ΙΙ δεν είχαμε κανέναν αρδευτικό χειρισμό. Αρχική υγρασία ήταν η υγρασία κατά τη φάση της λήψης του εδάφους από τον αγρό.

Για την τελική γραφική επεξεργασία των διδιάστατων και τριδιάστατων τομογραφιών χρησιμοποιήθηκαν τα ακόλουθα λογισμικά πακέτα: ArcGIS (ESRI Inc., 2006) και Blender.



Εικόνα 2. Πειραματική διάταξη περίπτωσης μελέτης Ι

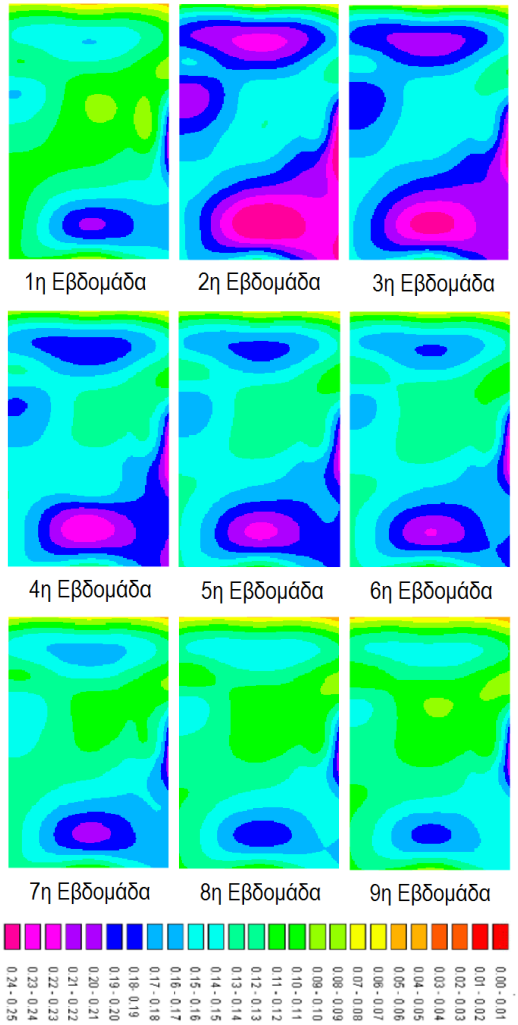


Εικόνα 3. Πειραματική διάταξη περίπτωσης μελέτης ΙΙ.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Στην Εικόνα 4 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των διδιάστατων απεικονίσεων, της περίπτωσης μελέτης Ι. Κάθε απεικόνιση αντιπροσωπεύει την χωρική κατανομή της εδαφικής υγρασίας, σε βάθος 15 cm κάτω από την επιφάνεια του εδάφους, για διάστημα μίας εβδομάδας. Σύμφωνα με τη χωρική κατανομή της εδαφικής υγρασίας, το νερό της άρδευσης δεν διείσδυσε ομοιόμορφα προς τα βαθύτερα στρώματα, αποδεικνύοντας πως στην εδαφολεκάνη υπάρχουν περιοχές με καλή και κακή διήθηση. Στο μέσον της εδαφολεκάνης φαίνεται να υπάρχει μία περιοχή με μειωμένη διηθητική ικανότητα, η οποία παρουσιάζει τις χαμηλότερες τιμές εδαφικής υγρασίας. Από τη σύγκριση των απεικονίσεων αυτών μεταξύ τους, προκύπτει η χρονική κατανομή της εδαφικής υγρασίας. Επίσης,

σύμφωνα με τη χρονική κατανομή χρειάστηκαν πάνω από 48 ώρες για να φτάσει το νερό της άρδευσης σε βάθος 15 cm από την επιφάνεια του εδάφους. Αυτές οι πληροφορίες είναι πολύ χρήσιμες για τον ακριβή σχεδιασμό των αρδεύσεων.

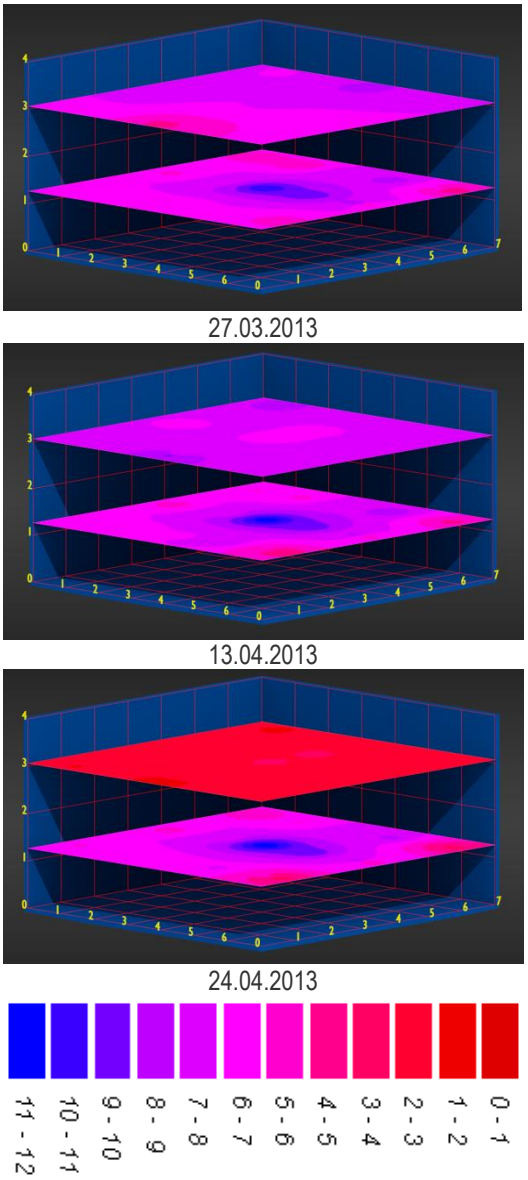


Εικόνα 4. Περίπτωση μελέτης Ι: Διδιάστατες (2-D) απεικονίσεις της υγρασίας (m^3m^{-3}) σε βάθος 15 cm από την επιφάνεια του εδάφους για διάστημα εννέα εβδομάδων (Gravalos et al., 2013).

Στην Εικόνα 5 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της τριδιάστατης απεικόνισης, της περίπτωσης μελέτης ΙΙ. Κάθε απεικόνιση αντιπροσωπεύει την χωρική κατανομή της εδαφικής υγρασίας, σε βάθος 9 cm και 26 cm από την επιφάνεια του εδάφους. Από τη σύγκριση των απεικονίσεων αυτών μεταξύ τους, προκύπτει η χωρική και χρονική κατανομή της εδαφικής υγρασίας. Η χωρική παραλλακτικότητα στο βάθος των 9 cm είναι σχετικά περιορισμένη, ενώ αυξάνεται σημαντικά στο βάθος των 26 cm. Αντιθέτως, η χρονική παραλλακτικότητα είναι αυξημένη στο βάθος των 9 cm και περιορισμένη στο βάθος των 26 cm.

4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Η συμβολή της μεθόδου αυτής στον προσδιορισμό της χωρικής και χρονικής κατανομής της εδαφικής υγρασίας είναι σημαντική, με την παραγωγή διδιάστατων και τριδιάστατων απεικονίσεων μεγάλης ακρίβειας. Η λεπτομερής απεικόνιση της κατανομής του νερού στο έδαφος παρέχει πολύτιμες πληροφορίες για το ισοζύγιο μεταξύ της απώλειας νερού προς την ατμόσφαιρα και της πρόσληψης νερού από το έδαφος, σε συνάρτηση με τις υδραυλικές και φυσικές ιδιότητες του εδάφους. Οι πληροφορίες αυτές θα μπορούν να αξιοποιηθούν με τρόπο που να μεγιστοποιείται η αποδοτικότητα των υδατικών εισροών και να ελαχιστοποιούνται οι απώλειες τους, στα πλαίσια της "άρδευσης ακριβείας". Η "άρδευση ακριβείας" μπορεί πλέον να υλοποιηθεί διά της διαφορικής λειτουργίας των αρδευτικών συστημάτων, χάριν των παραγόμενων χαρτών μεγάλης ακρίβειας, που απεικονίζουν τη χωρική και χρονική παραλλακτικότητα της εδαφικής υγρασίας.



Εικόνα 5. Περίπτωση μελέτης ΙΙ: Τριδιάστατη (3-D) απεικόνιση της υγρασίας (m^3m^{-3}) σε δύο διαφορετικά βάθη των 9 cm και 26 cm από την επιφάνεια του εδάφους για διάστημα ενός μήνα.

Επίσης, η μέθοδος αυτή θα συμβάλλει ουσιαστικά στην γρήγορη αξιολόγηση και αποδοχή των μαθηματικών μοντέλων, που προορίζονται για την ορθή διαχείριση των υδατικών πόρων.

Τέλος, η μέθοδος αυτή μπορεί να βοηθήσει στην αξιολόγηση της αποδοτικότητας των συστημάτων άρδευσης και στην ανίχνευση των τεχνικών βλαβών (για παράδειγμα στα συστήματα στάγδην άρδευσης) με άμεσο και αποτελεσματικό τρόπο (Gravalos et al., 2012).

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παρακολούθηση και η καταγραφή της εδαφικής υγρασίας με τη χρήση της ανωτέρω κινούμενης πλατφόρμας εντός δικτύου υπόγειων αγωγών είναι μία νέα προσέγγιση, με την οποία μπορούμε να συνθέσουμε διδιάστατες και τριδιάστατες απεικονίσεις της εδαφικής υγρασίας.

Ενδιαφέροντα ευρήματα της εργασίας αποτελούν: α) στην περίπτωση μελέτης Ι, η χωρική κατανομή της εδαφικής υγρασίας της 1ης εβδομάδας και της 8ης εβδομάδας παρουσιάζει παρόμοιο πρότυπο και β) στην περίπτωση μελέτης ΙΙ, η χωρική παραλλακτικότητα στο βάθος των 9 cm είναι σχετικά περιορισμένη, ενώ αυξάνεται σημαντικά στο βάθος των 26 cm.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Abdu, H., Robinson, D.A., Jones, S.B., 2007. Comparing Bulk Soil Electrical Conductivity Determination Using the DUALEM-1S and EM38-DD Electromagnetic Induction Instruments. Soil Sci. Soc. Am. J. 71: 189-196.

Besson, A., Cousin, I., Bourennane, H., Nicoullaud, B., Pasquier, C., Richard, G., Dorigny, A., King, D., 2010. The spatial and temporal organization of soil water at field scale as described by electrical resistivity measurements. European Journal of Soil Science 61: 120-132.

Cardell-Oliver, Smettem, R.K., Kranz, M., Mayer, K., 2005. A reactive soil moisture sensor network: design and field evaluation. Int. J. Distrib. Sens. Networks 1: 149-162.

Γράβαλος, Ι., Ντιούδης, Π., Φιλίντας, Αγ., Κατέρης, Δ., Μόλλα, Α., 2006**.** Πειραματικός προσδιορισμός της θέσης των αισθητήρων εδαφικής υγρασίας σε συνθήκες στάγδην άρδευσης. Πρακτικά 10ου Πανελληνίου Επιστημονικού Συνεδρίου Ελληνικής Υδροτεχνικής Ένωσης (Ε.Υ.Ε.), Τόμος Β΄, σελ.: 769-776, 13-16 Δεκεμβρίου 2006, Ξάνθη.

Gravalos, I., Gialamas, T., Kateris, D., Xyradakis, P., Tsiropoulos, Z., Ralli, M., 2007. *A control system to achieve optimum soil water conditions for plant growth.* International Conference on Trends in Agricultural Enginnearing (TAE 2007), Prague, Czech Republic, 12-14 of September 2007.

Gravalos, I., Loutridis, S., Moshou, D., Gialamas, Th., Kateris, D., Tsiropoulos, Z., Xyradakis, P., Savoulidis, M., Koutsofitis, Z., 2010. An underground experimental mobile platform for soil moisture monitoring. International Conference on Agricultural Engineering (AgEng 2010), Clermont-Ferrand, France, 6 - 8 of September, 2010.

Gravalos, I., Moshou, D., Gialamas, Th., Kateris, D., Tsiropoulos, Z., Augousti, A., 2012. A study on spatial and temporal soil water distribution using an underground sensor-based platform**.** International Conference of Agricultural Engineering (CIGR-Ageng 2012), Valencia, Spain, 8-12 of July, 2012.

Gravalos, I., Moshou, D., Loutridis, S., Gialamas, Th., Kateris, D., Tsiropoulos, Z., Xyradakis, P., 2012. Design of a pipeline sensor-based platform for soil water content monitoring. Biosystems Engineering 113:1-10.

Gravalos, I., Moshou, D., Loutridis, S., Gialamas, Th., Kateris, D., Bompolas, E., Tsiropoulos, Z., Xyradakis, P., Fountas, S., 2013. 2D and 3D soil moisture imaging using a sensor-based platform moving inside a subsurface network of pipes. Journal of Hydrology 499:146-153.

Grote, K., Hubbard, S., Rubin, Y., 2003. Field-scale estimation of volumetric water content using ground-penetrating radar ground wave techniques. Water Resources Research 39: 1321-1335.

ESRI Inc., 2006. ArcGIS 3D Analyst Tutorial. USA: CA, Redlands.

Evett, S.R., Tolk, J.A., Howell, T.A., 2006. Soil profile water content determination: sensor accuracy, axial response, calibration, temperature dependence, and precision. Vadose Zone Journal 5: 894-907.

Hanumantha Rao, B., Singh, D.N., 2011. Moisture Content Determination by TDR and Capacitance Techniques: A Comparative Study. International Journal of Earth Sciences and Engineering 4: 132-137.

IMKO Micromodultechnik Gmbh., 2000. Operating manual TRIME-FM. Germany: Ettlingen.

Loke, M.H., Barker, R.D., 1996. Practical techniques for 3D resistivity surveys and data inversion. Geophysical Prospecting 44: 499-523.

Moran, M.S., Peters-Lidard, C.D., Watts, J.M., McElroy, S., 2004. Estimating soil moisture at watershed scale with satellite-based radar and land surface models. Can. J. Remote Sensing 30: 805-826.

Muñnoz-Carpena, R., 2004. Field devices for monitoring soil water. USA: Agricultural and Biological Engineering Department, Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agriculture Sciences, University of Florida.

Sentek Pty Ltd., 2007. Diviner 2000 user guide version 1.4. South Australia: Stepney.

Schwartz, B.F., Schreiber, M.E., Yan, T., 2008. Quantifying field-scale soil moisture using electrical resistivity imaging. J. of Hydrology 362: 234-246.

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΑΡΔΕΥΣΗΣ ΣΕ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ

Μαρία Σακελλαρίου – Μακραντωνάκη[1], Ειρήνη Καρατάσιου[1], Χρήστος Τζιμόπουλος[2], Χρήστος Νάκας[1], Χρήστος Παπανικολάου[1], Βασιλική Μπότα[1], Κυριάκος Μπακιρτζής[1], Νικόλαος Μπεγλόπουλος[1]

[1]Εργαστήριο Γεωργικής Υδραυλικής, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, Τ.Κ. 384446

[2]Εργαστήριο Υδραυλικών Έργων και Διαχείρισης Περιβάλλοντος, Τομέας Συγκοινωνιακών και Υδραυλικών Έργων, Τμήμα Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Πανεπιστημιούπολη Θεσσαλονίκης, Τ.Κ. 54124

Τα τελευταία χρόνια, το επιστημονικό ενδιαφέρον επικεντρώνεται στην εξοικονόμηση αρδευτικού νερού και στην παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, όπως η βιομάζα που παράγεται από τις ενεργειακές καλλιέργειες. Στο πλαίσιο αυτό στο Εργαστήριο Γεωργικής Υδραυλικής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, πραγματοποιήθηκε έρευνα με στόχο τη μελέτη αφενός της επίδρασης διαφορετικών μεθόδων προγραμματισμού των αρδεύσεων με αυτοματισμούς στην παραγωγή ενέργειας από την καλλιέργεια του ηλίανθου και αφετέρου στην εξοικονόμηση αρδευτικού νερού. Πραγματοποιήθηκε έρευνα Πλήρως Τυχαιοποιημένων Ομάδων που περιελάμβανε τέσσερις μεταχειρίσεις, με τέσσερις επαναλήψεις για κάθε μία από αυτές. Οι μεταχειρίσεις ήταν οι εξής: επιφανειακή στάγδην άρδευση στην οποία εφαρμόστηκε η μέθοδος του εξατμισιμέτρου τύπου Α για τον προγραμματισμό των αρδεύσεων (Α.Ε.) (μάρτυρας), η επιφανειακή στάγδην άρδευση στην οποία εφαρμόστηκε η μέθοδος Penman – Monteith (P-M.), η επιφανειακή (AUTO(E)) και η υπόγεια (AUTO(Y)) στάγδην άρδευση, στις οποίες η άρδευση προγραμματίστηκε με αυτόματο εξατμισίμετρο. Η οικονομική μελέτη έδειξε ότι, στη μεταχείριση AUTO(Y) πραγματοποιήθηκε η μεγαλύτερη εξοικονόμηση νερού καθώς και το μεγαλύτερο κέρδος.

Λέξεις κλειδιά: άρδευση, αυτοματισμοί, ενεργειακά φυτά, βιοκαύσιμα

COMPARATIVE STUDY OF THE IRRIGATION METHODS IN AN BIOENERGY CROP

Maria Sakellariou-Makrantonaki[1], Eirini Karatasiou[1], Christos Tzimopoulos[2], Christos Nakas[1], Christos Papanikolaou[1], Vasiliki Bota[1], Kiriakos Bakirtzis[1], Nikolaos Beglopoulos[1]

[1]Laboratory of Agricultyral Hydraulics, Dept. of Agriculture, Crop Production and Rural Environment, University of Thessaly, Volos, e-mail: msak@uth.gr and kareilar@yahoo.gr, Tel: 2421093059 and 6978544394

[2]Laboratory of Hydraulic Engineering and Environmental Management, Department of Transportation and Hydraulic Works, Dept. of Rural and Surveying Engineering, Aristotle University of Thessaloniki, Salonika, e-mail: tzimop@eng.auth.gr, Tel: 2310996141

In recent years, scientific interest focused on saving irrigation water and energy production from renewable sources such as biomass produced from energy crops. In this context to the Laboratory of Agricultural Hydraulics of University of Thessaly, a comparative evaluation of four irrigation methods is presented in order to study both the effect of different automated irrigation methods scheduling on energy production from cultivating sunflower and the irrigation water-saving. A randomized Complete Block experiment was conducted with four treatments in four replications. The treatments were recognized as follows: surface drip irrigation by using the evaporation pan class A (A.E.) (control) method of irrigation scheduling, surface drip irrigation using the Penman-Monteith method of irrigation scheduling, surface (AUTO(E)) and subsurface (AUTO(Y)) drip irrigation, where the irrigation was scheduled by automated evaporation pan. The economic study showed that the treatment AUTO(Y) was the largest water conservation and the most profitable.

Keywords: irrigation, automation, energy crops, biofuels

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα τελευταία χρόνια, το ενεργειακό ζήτημα του πλανήτη γίνεται ολοένα και πιο έντονο. Ενδεικτικά αναφέρεται πως οι ειδικοί προβλέπουν ότι θα χρησιμοποιούμε περίπου 60% περισσότερη ενέργεια το 2030 απ' ότι χρησιμοποιούμε σήμερα (Raum E., 2008). Έτσι μεγάλο μέρος της παγκόσμιας επιστημονικής κοινότητας στράφηκε στη μελέτη παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές. Οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) είναι η πρώτη μορφή ενέργειας που χρησιμοποίησε ο άνθρωπος και η σχεδόν αποκλειστική πηγή ενέργειας μέχρι πρακτικά τις αρχές του προηγούμενου αιώνα, πριν στραφεί έντονα στη χρήση του άνθρακα και των υδρογονανθράκων (Υπουργείο Βιομηχανίας Ενέργειας και Τεχνολογίας, 1989). Ερέθισμα για τη μελέτη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας αποτέλεσε η συνεχόμενη αύξηση του κόστους χρήσης των ορυκτών καυσίμων, η εξάντληση των αποθεμάτων τους και η ρύπανση του περιβάλλοντος, που προκαλείται από την καύση τους. Σήμερα οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας καλούνται να διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο στο συνεχώς μεταβαλλόμενο γεωπολιτικό χάρτη της ενέργειας,

καθώς δεν εμφανίζουν τον κίνδυνο εξάντλησης και είναι φιλικές προς το περιβάλλον . Στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας συγκαταλέγεται και η βιομάζα, που παράγεται από ενεργειακές καλλιέργειες.

Οι «ενεργειακές καλλιέργειες» είναι καλλιεργούμενα ή αυτοφυή είδη, παραδοσιακά ή νέα, τα οποία παράγουν βιομάζα ως κύριο προϊόν που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για διάφορους ενεργειακούς σκοπούς (Κούγιας Π., 2010). Με τον όρο βιομάζα χαρακτηρίζεται κάθε υλικό που προέρχεται από ζώντες ή πρόσφατα αποθανόντες φυτικούς και ζωικούς οργανισμούς (Biomass Energy Center, 2007). Η βιομάζα χρησιμοποιείται για ενεργειακούς σκοπούς όπως η παραγωγή βιοαερίου, βιοντίζελ, αιθανόλης, κ.λ.π.

Για την παραγωγή βιομάζας χρησιμοποιούνται διάφορα φυτικά είδη (Danalatos et al., 2008). Σύμφωνα με το Τμήμα Βιομάζας του Κέντρου Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, αυτή τη στιγμή στην Ελλάδα καλλιεργούνται πέντε προϊόντα για παραγωγή βιοντίζελ: ηλίανθος, ελαιοκράμβη, σόγια, ατρακτυλίδα και αγριαγκινάρα (Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, www.agrotikabook.gr), Β. Λυχναράς, 2006). Ο ηλίανθος ο ετήσιος (Helianthus anuus L.) ανήκει στην οικογένεια Compositae (Φ.Θ. Μουσταφέρη, 2010) και τις μεγαλύτερες απαιτήσεις σε νερό έχει από την έκφυση των ταξιανθιών ως την άνθηση (Σφήκας, 1988). Η μέση απόδοση του ηλίανθου στην Ελλάδα είναι της τάξης των 380kg/στρ. σπόρου για μονοετή καλλιέργεια σε αρδευόμενη έκταση (www.agroenergy.gr/content). Τα τελευταία χρόνια και μετά την έκδοση της οδηγίας 2003/30/ΕC της Ευρωπαϊκής Ένωσης σχετικά με την προώθηση των βιοκαυσίμων και άλλων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για τις μεταφορές, σκοπός της καλλιέργειας του ηλίανθου είναι και η παραγωγή βιοντίζελ (Κούντριας, 2011, Συρμαλής, 2010). Σύμφωνα με την οδηγία 30/2003 της Ευρωπαϊκής Επιτροπής μέχρι το έτος 2020 το 10% των καυσίμων που καταναλώνονται στις μεταφορές θα πρέπει να παράγονται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (Sakellariou – Makrantonaki et al., 2007).

Την τελευταία δεκαετία, το επιστημονικό ενδιαφέρον επικεντρώνεται στη μελέτη γνωστών μεθόδων προγραμματισμού των αρδεύσεων σε συνδυασμό με νέες τεχνολογίες, με στόχο την εξοικονόμηση αρδευτικού νερού. Επιπλέον, η καλλιέργεια του ηλίανθου πλέον θεωρείται μία από τις πολλά υποσχόμενες ενεργειακές καλλιέργειες για μελλοντική χρήση υπό τις ελληνικές συνθήκες. Γι' αυτούς τους λόγους κρίθηκε αναγκαία η μελέτη της επίδρασης διαφορετικών μεθόδων άρδευσης, επιφανειακής και υπόγειας στάγδην άρδευσης, στην ανάπτυξη και παραγωγή του ηλίανθου, καθώς και στην εξοικονόμηση αρδευτικού νερού. Επιπροσθέτως μελετήθηκε η εφαρμογή αυτοματοποιημένων συστημάτων άρδευσης στον αγρό. Σκοπό της καλλιέργειας αυτής αποτελεί η μεγιστοποίηση της ενεργειακής ωφέλειας από την καλλιέργεια του ενεργειακού φυτού ηλίανθου, με σύγχρονα αρδευτικά συστήματα.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΤΜΗΜΑ

Η έρευνα για την επίτευξη του παραπάνω στόχου πραγματοποιήθηκε στο Αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας στο Βελεστίνο Μαγνησίας, κατά το έτος 2011. Το πειραματικό σχέδιο που χρησιμοποιήθηκε ήταν Πλήρων Τυχαιοποιημένων Ομάδων και περιελάμβανε τέσσερις μεταχειρίσεις με τέσσερις επαναλήψεις για την κάθε μία από αυτές. Οργανώθηκαν οι εξής 4 μεταχειρίσεις: α) η επιφανειακή στάγδην άρδευση, στην οποία εφαρμόσθηκε η μέθοδος του εξατμισιμέτρου τύπου Α για τον προγραμματισμό των αρδεύσεων **(Α.Ε.**), β) η επιφανειακή στάγδην άρδευση στην οποία για τον προγραμματισμό της άρδευσης εφαρμόσθηκε η μέθοδος Penman-Monteith **(P.-M.),** γ) η επιφανειακή στάγδην άρδευση στην οποία ο προγραμματισμός των αρδεύσεων έγινε βάσει του αυτόματου εξατμισιμέτρου τύπου Α **(AUTO(E))** και δ) η υπόγεια στάγδην άρδευση στην οποία ο προγραμματισμός των αρδεύσεων έγινε βάσει του αυτόματου εξατμισιμέτρου τύπου Α **(AUTO(Y))**. Σε όλες τις μεταχειρίσεις οι μέθοδοι άρδευσης, που χρησιμοποιήθηκαν, ήταν αυτοματοποιημένες, εκτός της μεταχείρισης Α.Ε. Οι μέθοδοι στις οποίες χρησιμοποιήθηκε το αυτόματο εξατμισίμετρο ήταν μέθοδοι άρδευσης από απόσταση. Η δόση άρδευσης που εφαρμόστηκε σε όλες τις μεταχειρίσεις ήταν ίση με το 100% των αναγκών σε νερό της καλλιέργειας.

Η μηχανική σύσταση του εδάφους του αγρού, όπως προέκυψε από τη σχετική ανάλυση είναι: άμμος 48%, άργιλος 23% και ιλύς 29%. Το PH του εδάφους είναι 7,8 και η οργανική ουσία 0,97% (Μήτσιος κ.α.,2000). Στον Πίνακα 1 παρουσιάζονται οι εδαφολογικές παράμετροι του πειραματικού αγροτεμαχίου.

Πίνακας 1: Εδαφολογικοί παράμετροι του πειραματικού αγροτεμαχίου.

Σημείο Δειγ/ψίας	Βάθος Δειγ/ψίας cm	Υδατοϊκανότητα (% v/v)	Σημείο Μόνιμης Μάρανσης (% v/v)
1	0 - 30	38,8	21,9
1	30 - 60	40,2	22
2	0 - 30	38,8	21,1
2	30 - 60	40,9	21,7
Μ.Ο.		39,7	21,7

2.2. ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ

Κάθε πειραματικό τεμάχιο (plot) είχε συνολική έκταση 56 m^2 και περιελάμβανε 6 γραμμές, με αποστάσεις φυτών επί της γραμμής 12 cm περίπου και μεταξύ των γραμμών 80 cm. Το επιφανειακό δίκτυο εφαρμογής περιελάμβανε σταλακτηφόρους

σωλήνες από πολυαιθυλένιο διαμέτρου 20 mm, οι οποίοι απείχαν μεταξύ τους 1,60 m. Κάθε σταλακτηφόρος αγωγός περιελάμβανε αυτοκαθαριζόμενους και αυτορυθμιζόμενους σταλακτήρες με ισαποχή 80 cm και η παροχή κάθε σταλάκτη ήταν 2,3 l/h. Στο υπόγειο σύστημα στάγδην άρδευσης χρησιμοποιήθηκε ο ίδιος τύπος σταλακτηφόρου σωλήνα και τοποθετήθηκε σε βάθος 45 cm από την επιφάνεια του εδάφους, με ειδικό υπεδαφοθέτη. Επιπλέον, περιελάμβανε και φίλτρο δίσκων εμβαπτισμένων στην ουσία trifluralin για την προστασία του συστήματος από την εισχώρηση ριζών κατά τη διακοπή της άρδευσης.

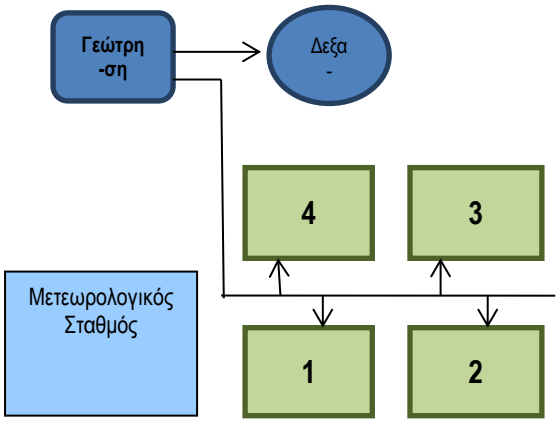
Οι καλλιεργητικές τεχνικές ήταν ίδιες για όλες τις μεταχειρίσεις και σύμφωνες με τη γενικότερη καλλιεργητική πρακτική που εφαρμόζεται στην περιοχή. Η σπορά πραγματοποιήθηκε στις 12 Απριλίου 2011, με σπαρτική μηχανή γραμμικών καλλιεργειών τεσσάρων σπαρτικών μονάδων. Η ποικιλία ηλίανθου που χρησιμοποιήθηκε ήταν η PR64A63 της PIONEER, σε ποσότητα 0,89 kg/στρ. Κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου 2011 πραγματοποιήθηκε μετασπαρτική και προφυτρωτική χημική ζιζανιοκτονία, με την εφαρμογή του ζιζανιοκτόνου STOMP σε ποσότητα 350 cc/στρ., ενώ δεν πραγματοποιήθηκε λίπανση.

2.3. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

Στην επιφανειακή στάγδην άρδευση, στην οποία ο προγραμματισμός της άρδευσης βασίστηκε στο αυτόματο εξατμισίμετρο χρησιμοποιήθηκε ένας αισθητήρας μέτρησης στάθμης νερού. Από τον συγκεκριμένο αισθητήρα λαμβάνονταν οι ημερήσιες τιμές εξάτμισης αυτόματα. Επίσης, χρησιμοποιήθηκε ένας Data logger, ο οποίος κατέγραφε την εξάτμιση από το εξατμισίμετρο. Με data logger καθορίζονταν η έναρξη και η λήξη της άρδευσης, μέσω ηλεκτροβάνας. Η άρδευση πραγματοποιούνταν όταν συγκεντρώνονταν συνολικά 30 mm εξάτμισης.

Για τη συλλογή των μετεωρολογικών στοιχείων της περιοχής (βροχόπτωση, σχετική υγρασία, ηλιοφάνεια, θερμοκρασία αέρα, κ.λ.π.) χρησιμοποιήθηκε αυτόματος μετεωρολογικός σταθμός, που βρίσκεται τοποθετημένος σε απόσταση 50 m από τον πειραματικό αγρό (Εικόνα 1). Για την επεξεργασία των δεδομένων χρησιμοποιήθηκε το στατιστικό πακέτο SPSS version 18. Η στατιστική επεξεργασία πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο ανάλυσης της παραλλακτικότητας (ANOVA) για επίπεδο σημαντικότητας 5 % και η κατάταξη των μέσων όρων έγινε με την εφαρμογή του πολλαπλού τεστ Duncan (Montgomery, 1999, Α.Κ. Φασούλας, 1992).

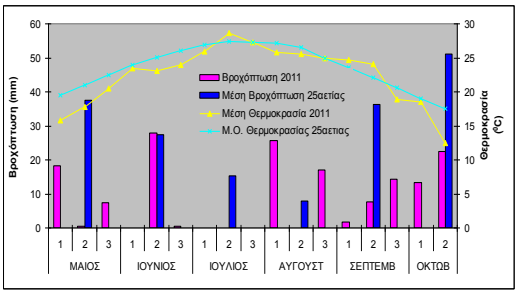
Κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου 2011 διενεργήθηκαν μετρήσεις της εξέλιξης της διαμέτρου των κεφαλών, ύψους των φυτών και του δείκτη φυλλικής επιφάνειας. Οι μετρήσεις ήταν εβδομαδιαίες και λαμβάνονταν από τις δύο μεσαίες γραμμές σποράς κάθε πειραματικού τεμαχίου (plot), για την αποφυγή αλληλεπιδράσεων από γειτονικές γραμμές σποράς και γειτονικά πειραματικά τεμάχια. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν για τη μελέτη παραγωγής στερεών βιοκαυσίμων από τα φύλλα και τα στελέχη των φυτών. Τέλος από την τελική παραγωγή σπόρου, έπειτα από κατάλληλη εργαστηριακή ανάλυση, προέκυψε η παραγωγή ηλιελαίου και συνεπώς ενέργειας (βιοντίζελ), που αποτελεί και τον κύριο στόχο της παρούσας έρευνας.



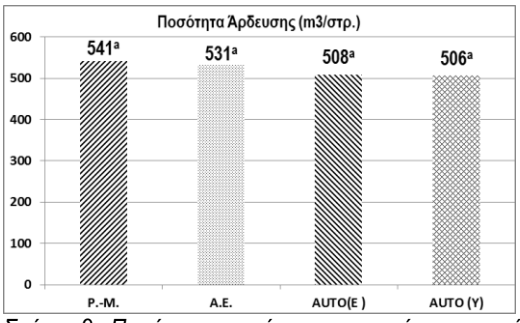
Εικόνα 1: Διάταξη επαναλήψεων των μεταχειρίσεων στον πειραματικό αγρό.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Στο Σχήμα 1 παρουσιάζονται κλιματικά δεδομένα της καλλιεργητικής περιόδου 2011. Συγκεκριμένα, παρουσιάζεται η μέση θερμοκρασία και η ωφέλιμη βροχόπτωση κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου 2011, καθώς και οι μέσες τιμές θερμοκρασίας και βροχοπτώσεων των τελευταίων 25 ετών.



Σχήμα 1. Κλιματικά δεδομένα καλλιεργητικής περιόδου 2011.

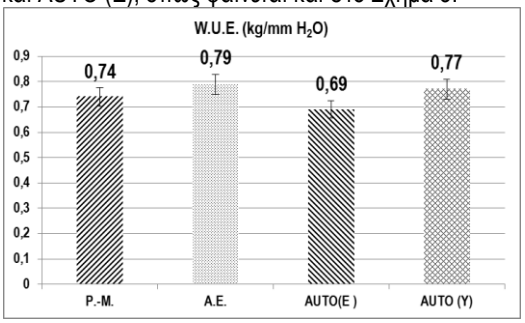


Σχήμα 2. Ποσότητα νερού που εφαρμόστηκε κατά την άρδευση για κάθε μεταχείριση.

Ως προς τη ποσότητα νερού που εφαρμόστηκε για άρδευση δεν υπήρχαν διαφορές σε επίπεδο

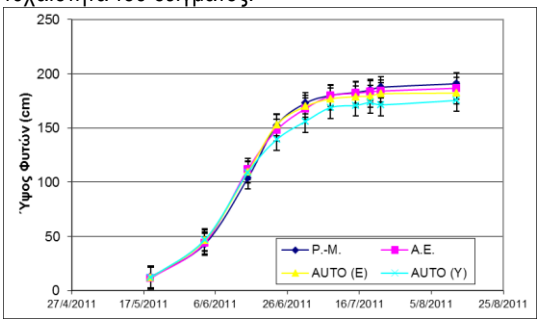
σημαντικότητας 5 % μεταξύ των μεταχειρίσεων σύμφωνα με το Σχήμα 2. Η σχεδόν ίδια ποσότητα αρδευτικού νερού που εφαρμόσθηκε στις μεταχειρίσεις P. – M. και A.E. ίσως οφείλεται στο γεγονός ότι οι φυτικοί συντελεστές k_c (0,35 για το αρχικό και το τελικό στάδιο ανάπτυξης της καλλιέργειας και 1,15 για το στάδιο πλήρους ανάπτυξης) που χρησιμοποιήθηκαν στο πρόγραμμα άρδευσης και ήταν ίδιοι για όλες τις μεθόδους, καθώς και η τιμή του συντελεστή εξατμισιμέτρου k_p (0,7) ήταν αρκετά καλά εναρμονισμένες με τις κλιματολογικές παραμέτρους της περιοχής διεξαγωγής της έρευνας. Η μεταχείριση όμως στην οποία εφαρμόσθηκε η μεγαλύτερη ποσότητα αρδευτικού νερού ήταν εκείνη, στην οποία χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος Penman-Monteith για τον προγραμματισμό των αρδεύσεων. Αντιθέτως, η μικρότερη ποσότητα αρδευτικού νερού εφαρμόστηκε στην υπόγεια στάγδην άρδευση στην οποία ο προγραμματισμός των αρδεύσεων πραγματοποιήθηκε βάσει του αυτόματου εξατμισιμέτρου και παράλληλα εμφάνισε την υψηλότερη εξοικονόμηση νερού (6,5 %). Πιθανόν το γεγονός αυτό να οφείλεται στις μειωμένες απώλειες από εξάτμιση. Στο ίδιο σχήμα εκτός της ποσότητας του αρδευτικού νερού που εφαρμόστηκε καθ' όλη τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου με στάγδην άρδευση, συμπεριλαμβάνεται και η άρδευση με καταιονισμό (30 mm) που πραγματοποιήθηκε μετά τη σπορά και τη χημική ζιζανιοκτονία.

Κατά τους Howell et al. (1990) η αποδοτικότητα της χρήσης νερού άρδευσης (W.U.E.) είναι ο λόγος της συνολικής παραγωγής προς το συνολικό νερό άρδευσης. Την υψηλότερη αποδοτικότητα χρήσης αρδευτικού νερού (0,79 kg/mm H_2O) παρουσίασε η επιφανειακή στάγδην άρδευση, στην οποία ο προγραμματισμός των αρδεύσεων πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του εξατμισιμέτρου τύπου Α. Ως προς την αποδοτικότητα της χρήσης του νερού άρδευσης υπήρχαν διαφορές σε επίπεδο σημαντικότητας 5% μεταξύ των μεταχειρίσεων A.E. και AUTO (E), όπως φαίνεται και στο Σχήμα 3.



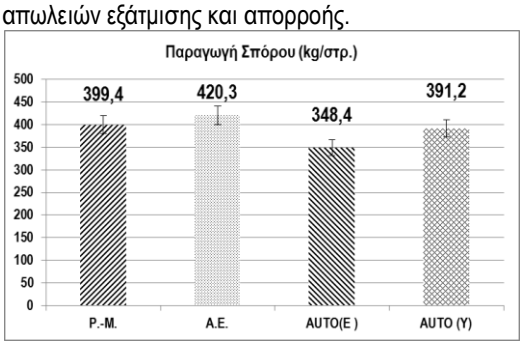
Σχήμα 3. Αποδοτικότητα χρήσης νερού άρδευσης.

Παρατηρήθηκε μία τάση υπεροχής της P. – M. ως προς το ύψος της καλλιέργειας. Ως προς το ύψος της καλλιέργειας, μεταξύ των μεταχειρίσεων P. – M. και AUTO(Y) υπήρχαν διαφορές σε επίπεδο σημαντικότητας 5% σύμφωνα με το Σχήμα 4, που πιθανόν οφείλεται είτε στη μεγαλύτερη ποσότητα νερού που εφαρμόστηκε στην P. – M., είτε στην τυχαιότητα του δείγματος.

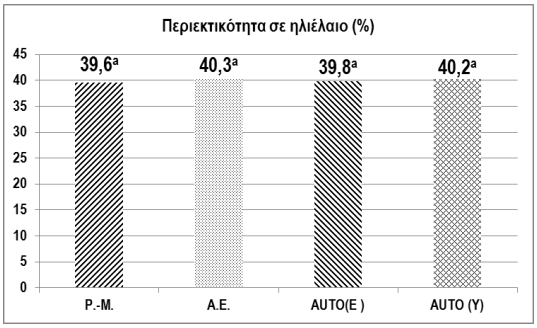


Σχήμα 4. Εξέλιξη του ύψους φυτών ηλίανθου (cm) ανά μεταχείριση.

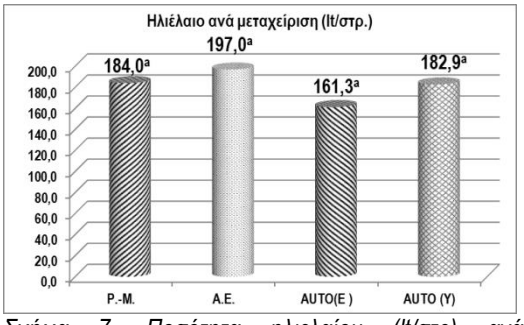
Η υψηλότερη παραγωγή σπόρου (420,3 kg/στρ.) παρατηρήθηκε στην A.E. Η μεταχείριση AUTO(E) παρουσίασε διαφορά σε επίπεδο σημαντικότητας 5% σε σχέση με τις υπόλοιπες, σύμφωνα με το Σχήμα 5. Ενώ, μεταξύ των μεθόδων άρδευσης στις οποίες χρησιμοποιήθηκε το αυτόματο εξατμισίμετρο, η AUTO(Y) ήταν εκείνη που παρουσίασε την υψηλότερη παραγωγή, ίσως λόγω των μειωμένων απωλειών εξάτμισης και απορροής.



Σχήμα 5. Παραγωγή σπόρου ανά μεταχείριση.



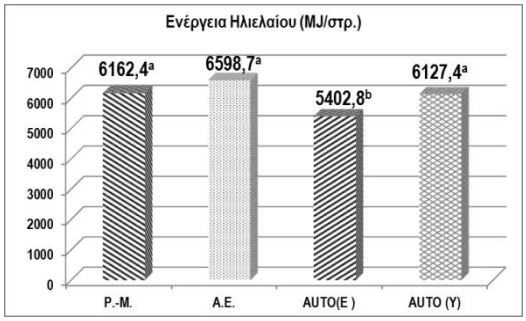
Σχήμα 6. Περιεκτικότητα σε ηλιέλαιο των σπόρων ανά μεταχείριση.



Σχήμα 7. Ποσότητα ηλιελαίου (lt/στρ) ανά μεταχείριση.

Ως προς την περιεκτικότητα του σπόρου σε ηλιέλαιο επί τοις εκατό και την ποσότητα ηλιέλαιου (lt/στρ.) δεν υπήρχαν διαφορές σε επίπεδο σημαντικότητας 5 %, όπως φαίνεται και στα Σχήματα 6 και 7. Η μεταχείριση Α.Ε. όμως, παρουσίασε μια τάση υπεροχής και στις δύο περιπτώσεις. Να σημειωθεί ότι, κάθε λίτρο πετρελαίου αναλογεί σε 1,13 lt ηλιέλαιου, ενώ η θερμογόνος δύναμη του πετρελαίου είναι 44 MJ/lt και του ηλιελαίου 33,5 MJ/lt..

Επίσης, η μεταχείριση Α.Ε. παρουσιάζει μια τάση υπεροχής και ως προς την παραγόμενη ενέργεια από το ηλιέλαιο, σύμφωνα με το Σχήμα 8. Παρατηρήθηκε διαφορά σε επίπεδο σημαντικότητας 5% ως προς την παραγόμενη από το ηλιέλαιο ενέργεια από τη μεταχείριση AUTO (E).



Σχήμα 8. Παραγόμενη ενέργεια από ηλιέλαιο (MJ/στρ.)

4.ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα έρευνα μελετήθηκαν τρεις διαφορετικές μέθοδοι στάγδην άρδευσης με αυτοματισμούς (Ρ. – Μ., AUTO(E) και AUTO(Y). Οι μέθοδοι αυτές άρδευσης με αυτοματισμούς παρουσίασαν εξοικονόμηση νερού (5 %) σε σχέση με τη συμβατική Α.Ε. Με τη χρήση των μεθόδων κατέστη δυνατή η άρδευση των αντίστοιχων πειραματικών τεμαχίων εξ αποστάσεως. Να σημειωθεί το γεγονός ότι δεν παρατηρήθηκαν προβλήματα αξιοπιστίας στον εξοπλισμό που υποστήριζε την άρδευση από απόσταση. Κατά συνέπεια μπορεί να ισχυριστεί κανείς ότι με τη χρήση των μεθόδων AUTO(E) και AUTO(Y) μειώνονται οι μετακινήσεις των παραγωγών από και προς τα αγροτεμάχια τους. Αποτέλεσμα των μειωμένων μετακινήσεων αποτελούν οι λιγότερες εργατοώρες για την άρδευση της εκάστοτε καλλιέργειας. Επιπλέον, βελτιστοποιούν τη χρήση του νερού, καθώς παρέχεται στην καλλιέργεια τόση ποσότητα νερού, όση ακριβώς απαιτείται για την κάλυψη των αναγκών της. Οπότε, περιορίζεται η σπατάλη νερού. Επιπροσθέτως, αποφεύγεται η κατασπατάληση ενέργειας για άρδευση, καθόσον πραγματοποιούνται αποκλειστικά και μόνο οι απαιτούμενες αρδεύσεις.

Το φυτό του ηλίανθου αποτελεί μια πολλά υποσχόμενη ενεργειακή καλλιέργεια, καθώς από το στέλεχος και τα φύλλα του μπορούν να παραχθούν στερεά καύσιμα, ενώ από το σπόρο του υγρά βιοκαύσιμα. Έτσι, προτείνεται στους παραγωγούς ως εναλλακτική καλλιέργεια έναντι των παραδοσιακών. Όπως προαναφέρθηκε, ως προς την περιεκτικότητα σε ηλιέλαιο και κατ' επέκταση παραγωγή ηλιελαίου δεν υπήρχαν διαφορές σε επίπεδο σημαντικότητας 5%. Το γεγονός όμως ότι υπήρξε διαφορά σε επίπεδο σημαντικότητας 5% ως προς την παραγωγή σπόρου, πιθανόν να οφείλεται στην υγρασία των σπόρων (τυχαιότητα δειγμάτων).

Έτσι, προτείνεται η καλλιέργεια ηλίανθου για ενεργειακούς σκοπούς, ως εναλλακτική καλλιέργεια, όταν μάλιστα χρησιμοποιείται για τον προγραμματισμό της άρδευσης αυτόματο εξατμισίμετρο σε συνδυασμό με σύστημα υπόγειας στάγδην άρδευσης.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Biomass Energy Center, 2007. www.biomassenergycentre.org.uk

Danalatos N.G., Archontoulis S.V., Ciannoulis K.D., Pasxonis K., Tsalikis D., Pazaros B., Papadoulis N., Zaintoudis D., 2008. Cynara,sunflower, sweet and fiber sorghum on-farm yields in north, central and south Greece in 2007. Proceedings of the International conference on agricultural Engineering, Crete, Greece pp 1-13.

Howell, T.A., Cuenca, R.H. and Solomon, K.H. 1990. Crop yield response. In: Hoffman (ED), Management of Farm Irrigation Systems.ASAE.pp.312s.

Κούγιας Π., 2010. Ενεργειακές Καλλιέργειες. Ηλεκτρονικό άρθρο www.agri.gr

Κούντριας Γ., 2011. Ελλειμματική άρδευση του ηλίανθου για τη βέλτιστη αξιοποίηση αρδευτικού νερού. Πτυχιακή Διατριβή. Βόλος.

Λυχναράς Β., 2006. Ενεργειακές καλλιέργειες. Τμήμα Βιομάζας. Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενάργειας. Διαθέσιμο: www.agrotikabook.gr

Montgomery D.C. and Runger G.C., 1999. Applied Statistics and Probability for Engineers, John Wiley and Sons, New York, 430-530 p.p.

Μήτσιος Ι., Τούλιος Μ., Χαρούλης Α., Γάτσιος Φ. και Φλωράς Σ., 2000. Εδαφολογική μελέτη και εδαφολογικός χάρτης του αγροκτήματος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας στην περιοχή του Βελεστίνου. Εκδόσεις Zymel. Αθήνα, 21-41 σελ.

Μουσταφέρη Φ.Θ., 2010. Αξιολόγηση της ανάπτυξης και των αποδόσεων τεσσάρων υβριδίων ηλίανθου (Hellianthus annuus L.) (δύο συμβατικών καιδύο με υψηλή περιεκτικότητα σε ελαϊκό οξύ υπό τις εδαφοκλιματικές συνθήκες της Αττικής. Αθήνα.

Raum E., 2008. Fueling the future. Fossil Fuels and Biofuels. Heinemann Library – Chicago, Illinois.

Sakellariou – Makrantonaki M., Papalexis D., Nakos N., Kalavrouziotis I.K., 2007. Effect of modern irrigation methods on growth and energy production of sweet sorghum (var. Keller) on a dry year in Central Greece. Agricultural Water Management 90: 181-189 p.p.

Σύρμαλης Γ., 2010. Ελλειμματική άρδευση του ηλίανθου, έτος 2008. Βόλος.

Σφήκας Α.Γ., 1988. Ειδική Γεωργία ΙΙ, Βιομηχανικά Φυτά. Έκδοση Υπηρεσία Δημοσιευμάτων Α.Π.Θ. Θεσσαλονίκη.

Υπουργείο Βιομηχανίας Ενέργειας και Τεχνολογίας, 1989. Ανανεώσιμες πηγές Ενέργειας στην Ελλάδα. Πρόταση Εθνικής Πολιτικής.

Φασούλας Α.Κ., 1992. Στοιχεία πειραματικής Στατιστικής. Θεσσαλονίκη.

Διαδικτυακές Πηγές:

www.agroenergy.gr/content/

ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΑΡΔΕΥΤΙΚΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΤΗΣ ΠΕΔΙΑΔΑΣ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ ΜΕ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΘΕΩΡΙΑΣ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ VIKOR

Χ. Τζιμόπουλος[2], Δ. Ζορμπά[1] , Χ. Ευαγγελίδης[3]
Εργαστήριο Υδραυλικών Έργων και Διαχείρισης Περιβάλλοντος, Τμήμα Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, Α.Π.Θ., 54124, Θεσσαλονίκη

Στο παρόν άρθρο εφαρμόζεται η θεωρία της πολυκριτηριακής ανάλυσης με τη χρήση της μεθόδου VIKOR που ανήκει στις μεθόδους του συμβιβαστικού προγραμματισμού, με κύριο σκοπό την επιλογή του βέλτιστου αρδευτικού δικτύου στη πεδιάδα Θεσσαλονίκης. Ο κύριος στόχος της έρευνας είναι η κατάταξη και επιλογή ενός αρδευτικού δικτύου της πεδιάδας Θεσσαλονίκης από το σύνολο των αρδευτικών δικτύων που την απαρτίζουν, και όπου υπάρχουν αντιμαχόμενα κριτήρια. Τα κριτήρια αυτά είναι οικονομικά, περιβαλλοντικά και κοινωνικά, και υπάρχουν μεταξύ αυτών κάποιες προτιμήσεις (βάρη) του λήπτη απόφασης. Η μέθοδος VIKOR αναπτύχθηκε από τον Opricovic στο Πολυτεχνείο του Βελιγραδίου (Opricovic, 1998) και βασίζεται στις L_1 και L_∞ νόρμες, με εισαγωγή μιας ενδιάμεσης Q νόρμας , γραμμικού συνδυασμού των L_1 και L_∞. Η συμβιβαστική λύση που απορρέει, παρέχει μια μέγιστη ωφέλεια του συνόλου της «πλειοψηφίας» (maximum group utility of majority) και μια ελάχιστη ατομική διαφορά του «αντιπάλου» (minimum individual regret of the opponent). Το παρόν άρθρο αποτελεί ένα τμήμα της αρχικής επεξεργασίας των δεδομένων που συλλέχτηκαν για τις ανάγκες της έρευνας σε όλη την πεδιάδα Θεσσαλονίκης. Η επιλογή των αρδευτικών δικτύων έγινε με γνώμονα την μελλοντική ενσωμάτωση των αποτελεσμάτων στον οικονομικό χρονικό προγραμματισμό του ΓΟΕΒ Θεσσαλονίκης – Λαγκαδά. Ως βέλτιστο αρδευτικό δίκτυο θεωρήθηκε εκείνο το δίκτυο της ομάδας που ικανοποιεί περισσότερο ορισμένα προεπιλεγμένα κριτήρια. Η ομάδα των αρδευτικών δικτύων αποτελεί τις εναλλακτικές λύσεις ή προτάσεις οι οποίες βαθμολογήθηκαν σε σχέση με τα κριτήρια αυτά, με την βοήθεια της μεθόδου A.H.P. (Analytic Hierarchy Process).

Λέξεις κλειδιά: Πολυκριτηριακή ανάλυση, μέθοδος VIKOR (συμβιβαστικός προγραμματισμός), πεδιάδα Θεσσαλονίκης, αρδευτικά δίκτυα.

MANAGEMENT OF IRRIGATION NETWORKS IN THE THESSALONIKI PLAIN USING THE THEORY OF THE VIKOR METHOD

C. Tzimopoulos[2], D. Zormpa[1] , C. Evangelides[3]
Laboratory of Hydraulics and Environmental Management, Faculty of Rural and Surveying Engineering, AUTH., 54124, Thessaloniki
E-mails: [1]dzormpa@yahoo.gr, [2]tzimop@vergina.auth.gr, [3]evan@topo.auth.gr

In the present paper the theory of multi-criteria analysis using the method VIKOR is applied, in order to obtain the optimal irrigation network in Thessaloniki plain. Moreover, the research is focused on the classification of a finite number of irrigation networks belonging to Thessaloniki plain. Certain criteria have been selected for the application, which are economical, environmental and social, with some preferences (weights) between them. The VIKOR method was developed by Opricovic at the University of Belgrade (Opricovic, 1998) and it is based on L_1 and L_∞ norms, by inserting an intermediate Q norm as a linear combination of L_1 and L_∞. The compromise follows, providing a maximum benefit of all “majority” (maximum group utility of majority) and a minimum individual difference “opponent” (minimum individual regret of the opponent). This article is only one part of the initial processing of the data collected for the purposes of research throughout the Thessaloniki plain. The selection of irrigation systems will drive to the integration results concerning economic scheduling of GOEV Thessaloniki - Lagadas.

Key words: Multi-criteria analysis, Vikor method (compromise programming), Thessaloniki plain, irrigation networks.

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα οργανωμένα συλλογικά δίκτυα άρδευσης στον Ελλαδικό χώρο έχουν κατασκευαστεί κυρίως κατά την διάρκεια της δεκαετίας του 1960 (Κωνσταντινίδης, 1989; Μπαλιώτη, 2009). Χαρακτηρίζονται από παλαιότητα αλλά και από μια ξεπερασμένη τεχνολογία και κατά το σχεδιασμό τους δεν λήφθηκαν υπόψη οι παράγοντες που αφορούν την οικονομία του νερού και την προστασία του περιβάλλοντος. Για τη διαχείριση του αρδευτικού νερού και την επισκευή των αρδευτικών δικτύων απαιτείται η γνώση ενός συνόλου κριτηρίων, τα οποία θα βοηθήσουν στην αειφόρο διάθεση του νερού.

Ο σχεδιασμός της διαχείρισης ενός αρδευτικού δικτύου χαρακτηρίζεται από: α) μεγάλο βαθμό αβεβαιότητας, β) περίπλοκο υποκείμενο σχεδιασμού με πολλές φορές πολυδιάστατους στόχους, γ) δυσκολία στον καθορισμό των ατόμων ή ομάδων που συμβάλλουν στη λήψη της απόφασης και δ) εξεζητημένη δομή των εναλλακτικών λύσεων οι οποίες συνδυάζουν αρκετές στοιχειώδεις δράσεις και χρονικούς ορίζοντες σχεδιασμού (Netto et al., 1996).

Για την επίλυση ενός προβλήματος πολυκριτηριακής ανάλυσης, αναπτύχθηκαν πολλές μέθοδοι συμβιβαστικού προγραμματισμού (Zeleny, 1982 και Yu, 1985). Εδώ χρησιμοποιείται η μέθοδος VIKOR που είναι μια μορφή συμβιβαστικού προγραμματισμού που αναπτύχθηκε από τον Opricovic (1998). Με ανάλογα προβλήματα διαχείρισης έχουν ασχοληθεί οι Duckstein and Opricovic (1980); Opricovic (1993); Μαραβέα (1998); Καρασαββίδης (2003); Μπάκα (2006); Zarghami (2006); Schiau and Wu (2006); Καρασαββίδης κ.ά. (2009); Ζορμπά κ.α. (2010, 2011).

2. ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ

Η μέθοδος VIKOR (Opricovic, 2002, 2007, 2009; Opricovic and Zeng, 2004, 2006) θέτει προς επίλυση το εξής πρόβλημα:

$$\underset{i}{mco}\{(f_{ij}(F_i), i=1,....,m),\ j=1,...,n\}$$

όπου:

mco= ο τελεστής της διαδικασίας MCDM (Multiple Criteria Decision Making) για την επιλογή της καλύτερης (συμβιβαστής) εναλλακτικής δραστηριότητας.

m= ο αριθμός των δυνατών εναλλακτικών δραστηριοτήτων,

F_i= είναι η i-τή εναλλακτική δραστηριότητα,

f_{ij}= η τιμή του j-ου κριτηρίου για την εναλλακτική F_i,

n= ο αριθμός των κριτηρίων,

Με βάση τα παραπάνω καθορίζεται το μητρώο απόφασης:

$$\begin{array}{c} \overbrace{x_1\ \ x_2 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots x_n}^{} \\ \begin{array}{l} F_1 \\ F_2 \\ \ldots \\ F_m \end{array} \left\| \begin{array}{llll} f_{11} & f_{12} & \ldots\ldots\ldots\ldots & f_{1n} \\ f_{21} & f_{22} & \ldots\ldots\ldots\ldots & f_{2n} \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots & & & \\ f_{m1} & f_{m2} & \ldots\ldots\ldots\ldots & f_{mn} \end{array} \right\| \end{array}$$

και ο αλγόριθμος συμβιβαστικής κατάταξης VIKOR ακολουθεί τα εξής βήματα:

1. Προσδιορίζεται η καλύτερη και η χειρότερη τιμή από όλες τις τιμές που αντιστοιχούν στα κριτήρια x_j, j=1,2,…,n

$$f_j^* = \max_i f_{ij}, \quad f_j^- = \min_i f_{ij}, \quad j=1,2,...n.$$ Οι ως άνω τιμές καθορίζονται για την περίπτωση οφέλους. Για την περίπτωση κόστους υπάρχει η δυνατότητα να αντιστρέψουμε τη φορά της κλίμακας και να έχουμε τους ίδιους συμβολισμούς.

2. Υπολογίζονται οι τιμές $S_i = L_1$

$$S_i = \sum_{j=1}^{n} w_j \frac{f_j^* - f_{ij}}{f_j^* - f_j^-}$$

και $R_i = L_\infty,\ i=1,2,...,m$

$$R_i = \max_j [w_j \frac{f_j^* - f_{ij}}{f_j^* - f_j^-}],$$

όπου w_j είναι τα βάρη των κριτηρίων που εκφράζουν τις προτιμήσεις των ληπτών (DM) της απόφασης.

3. Υπολογίζονται οι τιμές $Q_i,\ i=1,2,...,m,$ από τη σχέση:

$$Q_i = v\frac{S_i - S^*}{S^- - S^*} + (1-v)\frac{R_i - R^*}{R^- - S^*},$$

όπου, $S^* = \min_i S_i,\ S^- = \max_i S_i,$

$R^* = \min_i R_i,\ R^- = \max_i R_i,$ και v αποτελεί ένα βάρος της στρατηγικής της μέγιστης ωφέλειας του συνόλου, ενώ 1-v αποτελεί το βάρος της ελάχιστης ατομικής διαφοράς.

4. Κατατάσσονται οι εναλλακτικές δραστηριότητες, ταξινομώντας τις τιμές των S,R, και Q κατά φθίνουσα σειρά. Τα αποτελέσματα συνιστούν τρείς στήλες κατάταξης.

5. Προτείνεται ως συμβιβαστική λύση η εναλλακτική δραστηριότητα $F^{(1)}$, η οποία είναι η καλύτερη κατατασσόμενη ως προς το μέτρο της Q (ελάχιστο), εφόσον ικανοποιούνται οι ακόλουθες δύο συνθήκες:

5.1. Αποδεκτό όφελος,

$Q(F^{(2)} - F^{(1)}) \geq DQ$, όπου $F^{(2)}$ είναι η εναλλακτική με δεύτερη κατάταξη στη στήλη της Q, και DQ=1/(m-1).

5.2. Αποδεκτή ευστάθεια στη λήψη απόφασης

Η εναλλακτική δραστηριότητα $F^{(1)}$ πρέπει επίσης να είναι καλύτερα καταταγμένη και ως προς τα μέτρα S και R. Αυτή η συμβιβαστική λύση είναι ευσταθής στη διαδικασία της λήψης απόφασης που έχει ως στρατηγική τη μέγιστη ωφέλεια του συνόλου (για v > 0.5), ή την συναίνεση ($v \approx 0.5$), ή την άρνηση (v < 0.5). Το v είναι το βάρος της στρατηγικής της λήψης απόφασης της μέγιστης ωφέλειας του συνόλου.

3. ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΟΥ ΒΕΛΤΙΣΤΟΥ ΑΡΔΕΥΤΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ

3.1 Περιγραφή του προβλήματος

Η περιοχή μελέτης αποτελείται από 16 αρδευτικά δίκτυα της πεδιάδας Θεσσαλονίκης όπου παρακάτω παρουσιάζονται με το όνομα του Τ.Ο.Ε.Β., και συγκεκριμένα: A_1= το αρδευτικό δίκτυο του Αγ.Αθανασίου, A_2= το αρδευτικό δίκτυο της Ακρολίμνης, A_3=το αρδευτικό δίκτυο της Βραχιάς, A_4= το αρδευτικό δίκτυο του Βρυσακίου, A_5= το αρδευτικό δίκτυο του Ζερβοχωρίου, A_6= το αρδευτικό δίκτυο του Κλειδίου, A_7= το αρδευτικό δίκτυο της Κορυφής, A_8= το αρδευτικό δίκτυο των Μαλγάρων, A_9= το αρδευτικό δίκτυο του Νησίου (Α'), A_{10}= το αρδευτικό δίκτυο της Ξεχασμένης, A_{11}= το αρδευτικό δίκτυο της Πρασινάδας, A_{12}= το αρδευτικό δίκτυο του Σταυρού, A_{13}= το αρδευτικό δίκτυο των Τρικάλων, A_{14}= το αρδευτικό δίκτυο της Χαλάστρας, A_{14}= το αρδευτικό δίκτυο της Χαλκηδόνας και A_{16}= το αρδευτικό δίκτυο της Τέως Λίμνη Γιαννιτσών (όπου περιλαμβάνει τους ακόλουθους Τ.Ο.Ε.Β: Αλεξάνδρειας, Γιαννιτσών, Καρυώτισσας, Κρ.Βρύσης, Μ.Μοναστηρίου, Νησίου (Β'), Π.Σκυλιτσίου και Σχοινά).

Για τη εύρεση της ιδανικής λύσης του προβλήματος, είναι αναγκαία η θέσπιση κριτηρίων

τα οποία θα καλύπτουν τόσο το οικονομικό-περιβαλλοντικό όσο και το παραγωγικό - κοινωνικό σκέλος της αξιολόγησης του κάθε σεναρίου. Έτσι, χρησιμοποιούνται τα παρακάτω βασικά κριτήρια: C_1= οι ανάγκες των καλλιεργειών σε νερό ανά καλλιεργητική περίοδο και ανά στρέμμα, C_2= το νερό που παροχετεύεται στα αρδευτικά δίκτυα από τον ΓΟΕΒ Θεσσαλονίκης – Λαγκαδά ανά καλλιεργητική περίοδο και ανά στρέμμα, C_3= το πλεονάζον νερό που παροχετεύεται στα αρδευτικά δίκτυα ανά καλλιεργητική περίοδο και ανά στρέμμα, C_4= η μέση παραγωγικότητα ανά καλλιεργητική περίοδο και ανά στρέμμα, C_5= το παραγωγικό κόστος καλλιέργειας ανά καλλιεργητική περίοδο και ανά στρέμμα, C_6= ο προϋπολογισμός έργων συντήρησης ανά έτος και ανά στρέμμα, C_7= οι δαπάνες εκτελεσθέντων έργων ανά έτος και ανά στρέμμα, C_8= η μηχανική σύσταση του εδάφους.

Η βαθμονόμηση των κριτηρίων έγινε μερικώς με τη μέθοδο A.H.P. (Analytic Hierarchy Process) που εισήχθη το 1980 από τον Saaty, τόσο για τα σενάρια όσο και για τα βάρη και παρουσιάζεται στον πίνακα 1. Ο χείριστος βαθμός είναι το 1 ενώ ο μέγιστος το 9. Ο κύριος λόγος που χρησιμοποιήθηκε αυτή η βαθμονόμηση ήταν για να επιτευχθεί κατά το δυνατό η αντικειμενοποίηση των σταθμιστικών βαρών και των κριτηρίων.

Πίνακας 1. Βαθμονόμηση με τη μέθοδο A.H.P. (Analytic Hierarchy Process)

Αριθμητική βαθμονόμηση	Λογική βαθμονόμηση
9	εξαιρετικής προτίμησης
8	σθεναρά εξαιρετική προτίμηση
7	πολύ δυνατή προτίμηση
6	έντονα σε πολύ μεγάλο βαθμό προτίμηση
5	δυνατή προτίμηση
4	μέτρια έντονα προτίμηση
3	μέτρια προτίμηση
2	σχεδόν μέτρια προτίμηση
1	σχεδόν προτιμητέο

3.2 Αξιολόγηση προβλήματος

Ο A(I,J) είναι ο πίνακας του οποίου τα στοιχεία δείχνουν την αξία των διαφορετικών σεναρίων για τα διαφορετικά κριτήρια. Ο δείκτης I είναι για τα διαφορετικά σενάρια (εναλλακτικές προτάσεις), ενώ ο δείκτης J για τα διαφορετικά κριτήρια. Δείχνει δηλαδή ο A(I,J) την «βαθμονόμηση» ή την αξιολόγηση του κάθε σεναρίου με βάση τα διάφορα κριτήρια.

Στον Πίνακα 2 παρουσιάζεται η αριθμητική βαθμονόμηση για την περιοχή μελέτης σε μορφή ιδιοδιανυσμάτων. Θα πρέπει να επισημανθεί ότι στα κριτήρια C_2, C_3, C_5, C_6, και C_7 ισχύει η αντίστροφη κλίμακα αξιολόγησης της μεθόδου A.H.P..

Σχετικά με την διαδικασία βαθμονόμησης των κριτηρίων που πραγματοποιήθηκε μερικώς με τη μέθοδο A.H.P., η ιεράρχηση των εναλλακτικών προτάσεων έγινε κατόπιν υποδείξεων του λήπτη απόφασης, ο οποίος καθορίζει την προτίμηση ή προτεραιότητα της κάθε εναλλακτικής πρότασης σε σχέση με τα εναλλακτικά κριτήρια.

Για να δημιουργηθεί ο πίνακας 2 όπου παρουσιάζει την αριθμητική αξιολόγηση του προβλήματος, πρέπει να υπολογισθούν τα ιδιοδιανύσματα του κάθε κριτηρίου σε σχέση με τις εναλλακτικές προτάσεις με κύριο στόχο την αντικειμενοποίηση του προβλήματος.

Αναλυτικότερα, ο πίνακας 3 που ακολουθεί παρουσιάζει για το κριτήριο C_1= οι ανάγκες των καλλιεργειών, την διαδικασία αξιολόγησης αυτού ως προς τα διαφορετικά σενάρια (εναλλακτικές προτάσεις), με την χρήση της μεθόδου A.H.P. (Analytic Hierarchy Process), με την δημιουργία ενός αναστροφοαντίστροφου πίνακα. Με την βοήθεια του πίνακα 3 υπολογίζονται τα ιδιοδιανύσματα του πρώτου κριτηρίου, ως προς τα διάφορα σενάρια (εναλλακτικές προτάσεις), τα αποτελέσματα αυτών παρουσιάζονται στον πίνακα 2 και συγκεκριμένα στην δεύτερη στήλη. Η ίδια διαδικασία επαναλαμβάνεται 8 φόρες, όσα είναι και τα κριτήρια.

3.3 Αριθμητικό παράδειγμα μεθόδου (Ζορμπά, 2010)

Το παρακάτω αριθμητικό παράδειγμα είναι μια σύντομη εφαρμογή της μεθόδου VIKOR, λόγο του περιορισμένου διαθέσιμου χώρου. Επιγραμματικά, έχουμε πέντε διαφορετικά σενάρια (εναλλακτικές προτάσεις) και πέντε κριτήρια. Η βαθμολόγηση των εναλλακτικών ως προς τα κριτήρια αλλά και η σπουδαιότητα (βάρος) του κάθε κριτηρίου αξιολογήθηκε με τη μέθοδο βαθμονόμησης ανάλογη της μεθόδου Saaty.

Στον πίνακα 4 παρουσιάζεται η αριθμητική αξιολόγηση του προβλήματος, χωρίς την χρήση ιδιοδιανυσμάτων και στον πίνακα 5 παρουσιάζονται η σπουδαιότητα (βάρη) του κάθε κριτηρίου.

Με βάση τους τύπους που αναφέρονται στο κεφάλαιο 2, πραγματοποιείτε ο υπολογισμός των $S_i = L_1$, $R_i = L_\infty$ και Q_i, $i = 1, 2, ..., m,$ για v=0.5, για κάθε εναλλακτική πρόταση

Σύμφωνα με τον πίνακα 6 όπου δείχνει την κατάταξη κατά VIKOR η σειρά κατάταξης έχει ως εξής: A_1>A_2>A_4>A_5>A_3, δηλαδή η πρώτη εναλλακτική πρόταση είναι η καλύτερη σε σχέση με τις υπόλοιπες ενώ η τρίτη εναλλακτική πρόταση είναι η χειρότερη.

Οι δύο συνθήκες της μεθόδου, αποδεκτό όφελος και αποδεκτή ευστάθεια στη λήψη απόφασης είναι αληθής και πληρούν τις προϋποθέσεις αφού $Q(F^{(2)} - F^{(1)}) \geq DQ \Rightarrow$ (0,276-0)>1/(5-1)=0.25 και επιπρόσθετα σύμφωνα με τη δεύτερη συνθήκη οι κατατάξεις των S, R συμπίπτουν με την κατάταξη της Q.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Θα πρέπει να επισημανθεί ότι η παραπάνω έρευνα αποτελεί τμήμα μιας ερευνητικής εργασίας που υλοποιείται στο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης (Εργαστήριο Υδραυλικών Έργων και Διαχείρισης Περιβάλλοντος) στα πλαίσια μιας διδακτορικής διατριβής.

Αναλύοντας τον πίνακα 2 και υπολογίζοντας τα ιδιοδιανύσματα προτεραιότητας, ένα πρώτο ασφαλές συμπέρασμα είναι πως τα αρδευτικά δίκτυα της Τέως λίμνης Γιαννιτσών αποτελούν την εναλλακτική πρόταση που εκπληρώνει τα περισσότερα κριτήρια.

Επιπρόσθετα, τα αρδευτικά δίκτυα της Τέως Λίμνης Γιαννιτσών είναι τα πιο αποδοτικά όταν εξετάζονται ως συνάρτηση της κατανάλωσης αρδευτικού νερού, της συντήρησης και παραγωγικότητας. Επιπρόσθετα τα αρδευτικά δίκτυα που αρδεύονται από τον Αξιό ποταμό παρουσιάζουν μεγάλη κατασπατάληση υδάτων, αφενός διότι αποτελούν δίκτυα βαρύτητας και αφετέρου λόγω παλαιότητας. Ταυτόχρονα τα αρδευτικά δίκτυα που είναι στο παραθαλάσσιο μέτωπο παρουσιάζουν αυξημένο κόστος παραγωγής σε σχέση με τα υπόλοιπα αρδευτικά δίκτυα, κυρίως διότι πρόκειται περί ορυζώνων.

Πίνακας 2. Αριθμητική αξιολόγηση προβλήματος

	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8
A_1	0.0153	0.0106	0.0091	0.0276	0.0494	0.1921	0.1916	0.1564
A_2	0.0375	0.0646	0.1220	0.1096	0.0096	0.0236	0.0165	0.0220
A_3	0.0177	0.0140	0.0133	0.0202	0.0709	0.1212	0.1247	0.0909
A_4	0.0589	0.0375	0.0408	0.0903	0.0355	0.0527	0.0537	0.0377
A_5	0.0897	0.1768	0.1767	0.1528	0.0139	0.0206	0.0144	0.0195
A_6	0.0094	0.0186	0.0199	0.0093	0.0273	0.0475	0.0488	0.0335
A_7	0.1582	0.0910	0.0585	0.0382	0.1137	0.0439	0.0452	0.0810
A_8	0.0109	0.0125	0.0152	0.0130	0.0317	0.1037	0.1072	0.1260
A_9	0.0815	0.0467	0.0671	0.0653	0.0903	0.0402	0.0414	0.0172
A_{10}	0.1355	0.0300	0.0246	0.1259	0.0121	0.0371	0.0383	0.0293
A_{11}	0.0674	0.1051	0.0880	0.0461	0.0603	0.0342	0.0353	0.0711
A_{12}	0.1263	0.0530	0.0456	0.1957	0.0176	0.0313	0.0325	0.0151
A_{13}	0.1066	0.1340	0.1066	0.0112	0.1823	0.0287	0.0297	0.0460
A_{14}	0.0082	0.0083	0.0102	0.0241	0.0241	0.1441	0.1393	0.1159
A_{15}	0.0273	0.0248	0.0296	0.0170	0.1318	0.0172	0.0203	0.0957
A_{16}	0.0496	0.1727	0.1729	0.0538	0.1294	0.0619	0.0612	0.0427

Πίνακας 3. Αναστροφοαντίστροφος πίνακας πρώτου κριτηρίου

C_1	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7	A_8	A_9	A_{10}	A_{11}	A_{12}	A_{13}	A_{14}	A_{15}	A_{16}
A_1	**1**	1/4	1/2	1/5	1/6	3	1/8	2	1/6	1/8	1/6	1/9	1/8	4	1/3	1/5
A_2	4	**1**	3	1/2	1/3	7	1/8	6	1/3	1/4	1/3	1/5	1/4	8	2	1/2
A_3	2	1/3	**1**	1/5	1/7	4	1/9	3	1/7	1/8	1/6	1/9	1/8	4	1/3	1/5
A_4	5	2	5	**1**	1/2	8	1/3	8	1/2	1/3	1/2	1/3	1/3	9	4	2
A_5	6	3	7	2	**1**	9	1/2	7	2	1/2	2	1/2	1/2	9	5	3
A_6	1/3	1/7	1/4	1/8	1/9	**1**	1/9	1/2	1/8	1/9	1/8	1/8	1/9	2	1/5	1/7
A_7	8	8	9	3	2	9	**1**	8	3	2	3	2	2	9	5	3
A_8	1/2	1/6	1/3	1/8	1/7	2	1/8	**1**	1/8	1/9	1/8	1/9	1/9	2	1/5	1/7
A_9	6	3	7	2	1/2	8	1/3	8	**1**	1/2	2	1/2	1/2	8	6	3
A_{10}	8	4	8	3	2	9	1/2	9	2	**1**	3	2	2	9	6	4
A_{11}	6	3	6	2	1/2	8	1/3	8	1/2	1/3	**1**	1/3	1/2	8	4	2
A_{12}	9	5	9	3	2	8	1/2	9	2	1/2	3	**1**	2	9	6	4
A_{13}	8	4	8	3	2	9	1/2	9	2	1/2	2	1/2	**1**	9	5	3
A_{14}	1/4	1/8	1/4	1/9	1/9	1/2	1/9	1/2	1/8	1/9	1/8	1/9	1/9	**1**	1/5	1/7
A_{15}	3	1/2	3	1/4	1/5	5	1/5	5	1/6	1/6	1/4	1/6	1/5	5	**1**	1/4
A_{16}	5	2	5	1/2	1/3	7	1/3	7	1/3	1/4	1/2	1/4	1/3	7	4	**1**

Πίνακας 4. Αριθμητική αξιολόγηση προβλήματος

	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5
A_1	8	3	5	2	8
A_2	6	3	3	2	4
A_3	1	3	3	2	5
A_4	7	1	1	3	9
A_5	3	4	2	1	1

Πίνακας 5. Βάρη κατά Saaty

W_1	W_2	W_3	W_4	W_5
0.5840	0.2200	0.1070	0.0490	0.0400

Πίνακας 6. Κατάταξη κατά VIKOR

	S	sorting S	R	sorting R	Q	sorting Q
A_1	0.103	A_1 = 0.103	0.073	A_1 = 0.0.073	0.000	A_1 = 0.000
A_2	0.343	A_2 =0.343	0.167	A_2 =0.167	0.276	A_2 =0.276
A_3	0.755	A_4 =0.410	0.584	A_4 =0.220	1.000	A_4 =0.379
A_4	0.410	A_5 =0.586	0.220	A_5 =0.417	0.379	A_5 =0.707
A_5	0.586	A_3 =0.755	0.417	A_3 =0.584	0.707	A_3 =1.000

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Περιοδικά

Duckstein, L. and Opricovic, S., 1980. Multiobjective optimization in river basin development. Water Res. Res., 16(1): 14-20.

Netto, C.O., Parent, E. And Duckstein, L., 1996. Multicriterion Design of Long-Term Water Supply in Southern France. Water Resources Planning and Management, 122: 403-413.

Opricovic, S., 1993. Dynamic programming with application to water reservoir management. Agricultural Systems, 41: 335-347. Opricovic S., (1998) Multicriteria Optimization of Civil Engineering Systems, Faculty of Civil Engineering, Belgrade.

Opricovic S., 2002, "Multicriteria Planning of Post-Earthquake Sustainable Reconstruction", Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering 17, 211–220.

Opricovic S., (2009) A Compromise Solution in Water Resources Planning. Water Resour Manage, 23, 1549–1561

Opricovic S. and Tzeng GH (2004) The compromise solution by MCDM methods: a comparative analysis of VIKOR and TOPSIS. Eur J Oper Res 156(2), 445–455.

Opricovic S, Tzeng GH (2006) Extended VIKOR method in comparison with outranking methods. Eur J Oper Res 178(2), 514–529.

Schiau, J.T. and Wu F.C., 2006. Compromise Programming Methodology for determining instream flow under multiobjective water allocation criteria. JAWRA Journal of the A.W.R.A., 42(5): 1179-1191.

Zarghami, M., 2006. Integrated water resources management in polrud irrigation system. Water Resources Management, 20: 215-225

Κεφάλαια βιβλίων

Ζορμπά, Δ., 2010. Πολυκριτηριακή ανάλυση με χρήση συμβιβαστικού προγραμματισμού. Εφαρμογή σε αρδευτικά δίκτυα της πεδιάδας Θεσσαλονίκης. Μεταπτυχιακή Διατριβή, ΤΑΤΜ, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 64-71 σελ.

Καρασαββίδης, Π., 2003. Εφαρμογή της Πολυκριτηριακής Ανάλυσης (Συμβιβαστικός Προγραμματισμός) στη Διαχείριση Υδατικών Πόρων στην Περιοχή Λιβαδείου Λαρίσης. Επιλογή Βέλτιστης Θέσης Φράγματος). Μεταπτυχιακή Διατριβή, ΤΑΤΜ, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 89-91 σελ.

Κωνσταντινίδης, Κ., 1989. Τα εγγειοβελτιωτικά έργα στην πεδιάδα Θεσσαλονίκης. Εκδόσεις ΓΕΩΤ.Ε.Ε, Θεσσαλονίκη, 133-134 σελ.

Μαραβέα, Ε., 1998. Μέθοδος πολυκριτηριακής ανάλυσης στη διαχείριση των υδατικών πόρων. Διπλωματικά εργασία, Ε.Μ.Π., 97 σελ.

Μπάκα, Μ., 2006. Διαχείριση Υδατικών Πόρων με Μεθόδους Πολυκριτηριακής Ανάλυσης (Συμβιβαστικός Προγραμματισμός) και Εφαρμογή στην Υδρολογική Λεκάνη του Ποταμού Νέστου. Μεταπτυχιακή Διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 115-117 σελ.

Μπαλιώτη, Β., 2009. Διαχείριση αρδευτικών δικτύων με τη βοήθεια του γραμμικού προγραμματισμού. Εφαρμογή στο Αρδευτικό δίκτυο Γέφυρας. Μεταπτυχιακή διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 36 σελ.

Saaty, T.L., 1980. The Analytic Hierarchy Process. Mc Graw-Hill, New York.

Yu P.L., 1985. Multiple-Criteria Decision Making, Concepts, Techniques, and Extension. Plenum Press, Lawrence, Kansas, pp. 388.

Zeleny, M., 1982. Multiple Criteria Decision Making. McGraw-Hill, New York.

Πρακτικά Συνεδρίων

Τζιμόπουλος, Χ., Ζορμπά, Δ., Ευαγγελίδης, Χ., 2011. Πολυκριτηριακή ανάλυση με χρήση συμβιβαστικού προγραμματισμού: εφαρμογή σε αρδευτικά δίκτυα της πεδιάδας Θεσσαλονίκης. Πρακτικά 7ου Πανελλήνιου Συνεδρίου Γεωργικής Μηχανικής, Ε.Γ.Μ.Ε.. Θεσσαλονίκη.

Καρασαββίδης, Π., Τζιμόπουλος, Χ., Ευαγγελίδης, Χ., 2009. Εφαρμογή της πολυκριτηριακής ανάλυσης (συμβιβαστικός προγραμματισμός) στη διαχείριση υδατικών πόρων στην περιοχή Λιβαδίου Λάρισας. Πρακτικά 6ου Πανελλήνιου Συνεδρίου Γεωργικής Μηχανικής, Ε.Γ.Μ.Ε.. Θεσσαλονίκη, σελ. 123-130.

ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΔΕΙΚΤΗ ΥΔΑΤΙΚΗΣ ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΗΣ ΔΥΟ ΥΒΡΙΔΙΩΝ ΗΛΙΑΝΘΟΥ ΥΠΟ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΠΛΗΡΟΥΣ ΚΑΙ ΕΛΛΕΙΜΜΑΤΙΚΗΣ ΑΡΔΕΥΣΗΣ

Ιωάννης Αργυροκαστρίτης[1]., Γιολάντα Παπαθεοχάρη[2], Σταύρος Αλεξανδρής[1], Αγγελική Πανταζή[1], Ιωάννα Μανδαράκα[1]
Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών
[1]Εργαστήριο Γεωργικής Υδραυλικής,Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων & Γεωργικής Μηχανικής,
[2]Εργαστήριο Γεωργίας,Τμήμα Επιστήμης Φυτικής Παραγωγής, Ιερά Οδός 75, Αθήνα, 118 55

Στον πειραματικό αγρό του εργαστηρίου Γεωργικής Υδραυλικής του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών έγινε κατά την καλλιεργητική περίοδο (Μάιος - Αύγουστος) 2012, πειραματική καλλιέργεια δύο υβριδίων ηλίανθου *(Helianthus annuus L.)*, Tristan και Sanay αντίστοιχα, με σκοπό να αξιολογηθεί η ανάπτυξη και η παραγωγή τους σε σπόρο και λάδι, κάτω από συνθήκες πλήρους και ελλειμματικής άρδευσης. Εφαρμόστηκε πειραματικό σχέδιο υποδιαιρεμένων τεμαχίων (split-plot) με 4 επαναλήψεις, 2 κύριες επεμβάσεις (Wet: πλήρους άρδευσης και Dry: ελλειμματικής άρδευσης) και 2 υπο-επεμβάσεις (Tristan και Sanay). Για τους σκοπούς του πειράματος κατά τη διάρκεια του βιολογικού κύκλου των φυτών, έγιναν μετρήσεις που αφορούσαν σε χαρακτηριστικά της ανάπτυξής τους (ύψος φυτών, φυλλική επιφάνεια, ξηρό βάρος κ.ά.), στην τελική απόδοσή τους σε σπόρο και λάδι, καθώς και χαρακτηριστικές ιδιότητες των φυτών, που σχετίζονται με την καταπόνησή τους σε συνθήκες ελλειμματικής άρδευσης, όπως π.χ. η θερμοκρασία των φύλλων τους. Η άρδευση των φυτών γινόταν με σύστημα επιφανειακής στάγδην άρδευσης. Επίσης λαμβάνονταν και οι απαραίτητες μικρομετεωρολογικές παρατηρήσεις, που τελικά βοήθησαν στον προσδιορισμό του δείκτη υδατικής καταπόνησης φυτού (Crop Water Stress Index) ενώ προσδιορίστηκε και η μεταβολή του κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου. Από τα αποτελέσματα του πειράματος, εξάγονται συμπεράσματα τόσο για την ανάπτυξη και παραγωγή των εξεταζόμενων υβριδίων ηλίανθου, όσο και για την καταπόνηση των φυτών υπό συνθήκες ελλειμματικής άρδευσης, που βοηθούν στην αξιολόγηση των συγκεκριμένων υβριδίων για παραγωγή σπόρου και βιοκαυσίμου, ενώ συγχρόνως εκτιμάται η συμβολή της ελλειμματικής τους άρδευσης στην αρδευόμενη γεωργία.

Λέξεις κλειδιά: ελλειμματική άρδευση, ηλίανθος, δείκτης υδατικής καταπόνησης φυτού, βιοντήζελ

GROWTH PRODUCTION AND CROP WATER STRESS INDEX VARIATION OF TWO SUNFLOWER CULTIVARS UNDER FULL AND DEFICIT IRRIGATION CONDITIONS

Ioannis Argyrokastritis[1],Yolanda Papatheohari[2], Stavros Alexandris[1], Aggeliki Pantazi[1], Ioanna Mandaraka[1]
Agricultural University of Athens
[1]Lab. of Agricultural Hydraulics, Dep. of Natural Resources Development & Agricultural Engineering,
[2]Lab of Crop Production Dep. of Crop Science, Iera Odos 75, 11855, Athens, Greece
jarg@aua.gr, papatheohari@aua.gr, stalex@aua.gr,

In the experimental field of Laboratory of Agricultural Hydraulics of the Agricultural University of Athens, a field experiment was carried out from May to August of 2012, using two hybrids (Tristan and Sanay) of *Helianthus annuus* L. Aim of the experiment was the evaluation of crop development and production under full and deficit irrigation conditions. A split – plot experimental design with 4 replications, 2 main treatments (Wet and Dry) and 2 sub-treatments (Tristan and Sanay) was followed. During the experiment some characteristics of crop development (crop height, leaf area and dry weight) the harvest (seed and oil production) and some properties related to the crop water stress under deficit irrigation (e.g. leaf temperature) were measured. Irrigation was applied using a surface drip irrigation system. Crop water stress index (CWSI) and its variation during the crop season were determined also. Useful conclusions for the production and development of the helianthus crop under full and deficit irrigation conditions are reached. Also the contribution of deficit irrigation of sunflower to irrigated agriculture and oil production is evaluated.

Key words: deficit irrigation, sunflower, crop water stress index (CWSI), biodiesel.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο ηλίανθος, *(Helianthus annuus L.)* είναι φυτό με πολύ μεγάλη οικονομική σημασία, η οποία οφείλεται κυρίως στο λάδι που περιέχουν οι σπόροι του. Αυτοί μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως τρόφιμο (ως ξηρός καρπός και ως ηλιέλαιο που βγαίνει από αυτούς με έκθλιψη). Από τους ηλιόσπορους μετά από βιομηχανική επεξεργασία μπορεί να παραχθεί υγρό βιοκαύσιμο, (βιοντήζελ). Από τα υποπροϊόντα της σπορελαιουργίας μπορεί να παραχθεί ηλιόπιττα που μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν ζωοτροφή. Θεωρείται φυτό όχι ιδιαίτερα απαιτητικό στο νερό, σε Ελληνικές συνθήκες όμως, με την άρδευσή του ακόμη κι αν αυτή είναι ελλειμματική, είναι δυνατό να επιτευχθούν αρκετά ικανοποιητικές αποδόσεις (Steduto et al., 2012). Επιβάλλεται λοιπόν να γίνεται ορθολογική

εφαρμογή του νερού άρδευσης, με σύγχρονες μεθόδους ενώ προκειμένου να επιτευχθούν οι επιθυμητές αποδόσεις, θα πρέπει η άρδευση να γίνεται την κατάλληλη χρονική στιγμή. Ως ένας αρκετά αξιόπιστος δείκτης της υδατικής δοκιμασίας που υφίστανται τα φυτά θεωρείται το υδατικό δυναμικό του φύλλου, (Karamanos, 2003). Η εκτίμηση του όμως και μάλιστα σε συνθήκες αγρού απαιτεί ιδιαίτερα ακριβό εξοπλισμό. Η θεωρία της υπέρυθρης θερμομετρίας και η συσχέτιση αυτής με τη θερμοκρασία του φύλλου, έχουν αποτελέσει αντικείμενο πολλών μελετών (Jackson and Idso, 1969). Οι Idso et al. (1981a) παρατήρησαν μία γραμμική σχέση μεταξύ της διαφοράς θερμοκρασίας φύλλου-αέρα (T_c-T_a) και του ελλείμματος κορεσμού (VPD) της ατμόσφαιρας σε πλήρως αρδευόμενα καλλιεργούμενα φυτά, των οποίων ο ρυθμός διαπνοής είναι ο μέγιστος δυνατός σε περιόδους με ηλιοφάνεια. Καθώς το ποσοστό της εδαφικής υγρασίας μειώνεται, η σχέση (T_c-T_a) και (VPD) αποκλίνει από τη γραμμική σχέση που αντιπροσωπεύει την επάρκεια εδαφικής υγρασίας για το φυτό, ενώ όταν αυτό βρεθεί σε συνθήκες μηδενικής διαπνοής (δηλ. μέγιστης υδατικής καταπόνησης) η διαφορά (T_c-T_a) έχει σταθερή τιμή. Η γραμμικότητα της σχέσης (T_c-T_a) και (VPD) για φυτά υπό συνθήκες μέγιστης διαπνοής και η σταθερότητα της διαφοράς (T_c-T_a) για φυτά υπό συνθήκες μηδενικής διαπνοής αποτέλεσαν και τη βάση για τον ορισμό του δείκτη υδατικής καταπόνησης φυτού (CWSI). Ο δείκτης υδατικής καταπόνησης προσδιορίζει το στάδιο στο οποίο τα φυτά καταπονούνται υδατικά και λαμβάνει τιμές από 0 έως 1, με την τιμή 0 να αντιπροσωπεύει συνθήκες μέγιστης διαπνοής (μηδενικής υδατικής δοκιμασίας) και την τιμή 1 να αντιπροσωπεύει συνθήκες μηδενικής διαπνοής (μέγιστης υδατικής δοκιμασίας). Χρησιμοποιήθηκε, μάλιστα, από πολλούς μελετητές για τον προγραμματισμό της άρδευσης (Pinter and Reginato 1982, Reginato 1983, Howell et al. 1984, O'Toole et al. 1984, Reginato and Howe 1985, Reginato and Garrot 1987, Wanjura 1990). Ο στόχος της παρούσας εργασίας είναι η εκτίμηση της υδατικής καταπόνησης που υφίστανται δύο υβρίδια ηλίανθου, Tristan και Sanay, καθώς και η αξιολόγηση της ανάπτυξης και της παραγωγής τους σε σπόρο και σε λάδι, όταν αυτά υπόκεινται σε δύο μεταχειρίσεις, κανονικής και ελλειματικής (50%) άρδευσης αντίστοιχα. Παρόμοιες έρευνες σε Ελληνικές συνθήκες, αλλά για άλλα υβρίδια, έγιναν και στο παρελθόν (Αργυροκαστρίτης κ.ά, 2009), ενώ από πειράματα που πραγματοποιήθηκαν στην περιοχή του Λιβάνου (Fadi Karam et al., 2007) εξήχθηκαν χρήσιμα συμπεράσματα για παραμέτρους, όπως η εξατμισοδιαπνοή και η αποτελεσματικότητα χρήσης νερού για τον ηλίανθο.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Η έρευνα πραγματοποιήθηκε κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου 2012, στον πειραματικό αγρό του εργαστηρίου Γεωργικής Υδραυλικής του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών. Εφαρμόστηκε σχέδιο των υποδιαιρεμένων τεμαχίων (split plot) με τέσσερις επαναλήψεις, με δύο κύριες επεμβάσεις (Wet και Dry) και δύο υποεπεμβάσεις (Tristan – Sanay). Ο πειραματικός αγρός διαχωρίστηκε σε 16 πειραματικά τεμάχια. Σ' αυτά, σπάρθηκαν στις 17 Μαΐου 2012, 2 υβρίδια ηλίανθου: Tristan και Sanay. Εφαρμόστηκαν 2 διαφορετικές μεταχειρίσεις άρδευσης: κανονική άρδευση (Wet) και ελλειμματική (Dry, 50%). Ο προγραμματισμός της άρδευσης έγινε με τη βοήθεια μετρήσεων του μέσου ημερήσιου ύψους εξάτμισης από Εξατμισήμετρο τύπου Α ανά 10ήμερο. Το 80% του ύψους αυτού αντιστοιχούσε στη Wet μεταχείριση και το 40% στη Dry. Ο λόγος που προτιμήθηκε αυτή η μέθοδος προγραμματισμού ήταν γιατί άλλοι ερευνητές (Σακελλαρίου κ.ά, 2012) πέτυχαν αρκετά καλές αποδόσεις σε ελληνικές συνθήκες. Η σπορά πραγματοποιήθηκε με το χέρι σε 5 σειρές ανά τεμάχιο και σε αποστάσεις 75 cm μεταξύ των γραμμών και 20 cm επί της γραμμής. Η άρδευση έγινε με σύστημα στάγδην. Στον κεντρικό αγωγό (Φ 32mm) του δικτύου συνδέθηκαν 2 ηλεκτροβάννες για τη ρύθμιση της Wet και της Dry μεταχείρισης, ενώ για το δίκτυο εφαρμογής επιλέχθησαν σταλακτηφόροι αγωγοί διαμέτρου 16mm με αυτορυθμιζόμενους σταλακτήρες παροχής 2,3 l/h ανά 33cm. Συνεπώς, προέκυψαν 2 μεταχειρίσεις άρδευσης για κάθε υβρίδιο. Το νερό, το οποίο εφαρμόστηκε κατά τη διάρκεια της υδατικής καταπόνησης ανέρχεται: για τη Wet μεταχείριση στα 495 mm (πλήρης άρδευση), ενώ για τη Dry μεταχείριση ήταν 247 mm (ελλειμματική άρδευση). Το έδαφος από πλευράς μηχανικής σύστασης μετά από δειγματοληψία και ανάλυση χαρακτηρίστηκε ως αργιλοπηλώδες (CL).

Για τη μελέτη του δείκτη υδατικής καταπόνησης ήταν απαραίτητη η γνώση των εξής παραμέτρων: η πυκνότητα ροής της καθαρής ακτινοβολίας, μικρού και μεγάλου μήκους κύματος, που δέχεται τελικά η επιφάνεια του εδάφους,R_n(W/m^2), η σχετική υγρασία (2,0 m), RH(%), η ταχύτητα του ανέμου (2m), WS(m/s) και η θερμοκρασία του αέρα (1,5m), T_a(^{0}C). Για το σκοπό αυτό εγκαταστάθηκε στην περιοχή αυτόματος μετεωρολογικός σταθμός που διέθετε τα απαραίτητα όργανα για τη μέτρηση των ανωτέρω παραμέτρων.

Προκειμένου να εκτιμηθεί η υδατική καταπόνηση που υφίστανται τα φυτά, θεωρήθηκε απαραίτητος ο προσδιορισμός δύο ορίων: του άνω ορίου, όπου επικρατεί παντελής έλλειψη εδαφικής υγρασίας και το φυτό δεν διαπνέει ($r_c \to \infty$) και του κάτω ορίου, όπου θεωρητικά υπάρχει πλήρης επάρκεια εδαφικής υγρασίας ($r_c \to 0$). Το άνω όριο προσδιορίστηκε με την εξίσωση (1) (Jackson, 1982)

$$T_c - T_a = \frac{r_a \cdot R_N}{p \cdot C_p} \qquad (1)$$

όπου r_a= αεροδυναμική αντίσταση στη μεταφορά υδρατμών (sec.m^{-1}) που προσδιορίζεται με τη σχέση των Thom and Oliver (1977), p= πυκνότητα αέρα και

Cp= θερμοχωρητικότητα του αέρα υπό σταθερή πίεση.

Το κάτω όριο προσδιορίστηκε με την εξίσωση (2) (Jackson, 1982)

$$T_c - T_a = \frac{r_a \cdot R_N}{\rho \cdot C_p} \cdot \frac{\gamma}{\Delta + \gamma} - \frac{e_s - e_a}{\Delta + \gamma} \quad (2)$$

όπου Δ= κλίση της σχέσης της τάσης υδρατμών στον κορεσμό με τη θερμοκρασία, γ= ψυχρομετρική σταθερά, e_a = τάση υδρατμών στην ατμόσφαιρα, e_s = τάση υδρατμών σε κορεσμένη ατμόσφαιρα, σε θερμοκρασία T_a. Η διαφορά (e_s-e_a) παριστάνει το έλλειμμα κορεσμού της ατμόσφαιρας (VPD). Ο δείκτης υδατικής καταπόνησης (CWSI) ισούται με το λόγο της κάθετης απόστασης της διαφοράς θερμοκρασίας (Tc-Ta) από την οριογραμμή μέγιστης διαπνοής, προς την κάθετη απόσταση των δύο οριογραμμών, μέγιστης και μηδενικής διαπνοής αντίστοιχα, για την ίδια τιμή του (VPD) (Idso et al., 1981a, Jackson 1982). Έτσι, για τον προσδιορισμό του CWSI, λαμβάνονταν μετρήσεις της θερμοκρασίας του φυλλώματος (εξ' αποστάσεως, 15-20cm περίπου) καθημερινά, 12:00 με 13:00 το μεσημέρι, σε 3 κεντρικές σειρές σε κάθε αγροτεμάχιο, με τη χρήση του θερμομέτρου της υπέρυθρης ακτινοβολίας Infrared. Μετρήσεις λαμβάνονταν σε ένα αριθμό φυτών, σε φύλλα νεαρής ηλικίας, με τον ίδιο προσανατολισμό και την ίδια ώρα. Περιοδικά ανά 15 ημέρες, μετρήθηκε το ύψος των φυτών, και στη συνέχεια με καταστροφικές δειγματοληψίες μετρήθηκε ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας (LAI) και το ξηρό βάρος των φυτών, σε 3 φυτά ανά πειραματικό τεμάχιο. Οι δειγματοληψίες που παρακάτω χαρακτηρίζονται ως 1, 2, 3, 4 και 5 έγιναν αντίστοιχα 35, 49, 63, 77 και 92 ημέρες μετά τη σπορά. Στις 28/8/2012 (102 ημέρες μετά τη σπορά) έγινε η συγκομιδή κατά την οποία συγκομίστηκαν 9 φυτά ανά πειραματικό τεμάχιο στα οποία μετρήθηκαν η διάμετρος του βλαστού, το ξηρό βάρος της ταξιανθίας, το ολικό ξηρό βάρος του φυτού, το βάρος 1000 σπόρων και η περιεκτικότητα των σπόρων σε λάδι % w/w με τη μέθοδο της όξινης υδρόλυσης Soxhlet. Η στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων (ANOVA) έγινε με το πρόγραμμα JMP8 (Goopy and Creighton, 2007).

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

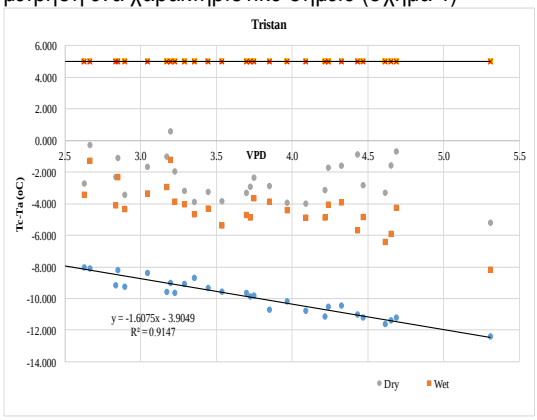
Οι δύο οριογραμμές που χρησιμοποιήθηκαν για τον προσδιορισμό του δείκτη υδατικής καταπόνησης (Crop Water Stress Index) και στις δύο μεταχειρίσεις, απεικονίζονται στο Σχήμα 1. Ο οριζόντιος άξονας αναφέρεται στο έλλειμμα κορεσμού (VPD), (δηλαδή e_s-e_a) και ο κάθετος άξονας αντιπροσωπεύει τη διαφορά θερμοκρασίας (T_c-T_a). Η κάτω οριογραμμή περιγράφεται από τη σχέση (3)

$$T_c - T_a = -1{,}6075 * VPD - 3{,}9049, \quad (3)$$

(R^2=0,915)

ενώ η άνω οριογραμμή από τη σχέση $T_c - T_a = 5{,}02\,^{o}C$.

Αντιστοιχίζοντας τις μετρήσεις της θερμοκρασίας του αέρα T_a (2,0m) και της θερμοκρασίας της φυλλικής επιφάνειας T_c στο διάγραμμα των οριογραμμών μηδενικής και μέγιστης υδατικής δοκιμασίας (και στις δύο μεταχειρίσεις, Wet-Dry) προκύπτει για κάθε μέτρηση ένα χαρακτηριστικό σημείο (σχήμα 1)



Σχήμα 1. Άνω και κάτω οριογραμμές για τον προσδιορισμό του CWSI για το υβρίδιο Tristan.

Έτσι, για το υβρίδιο Tristan (Wet μεταχείριση), (σχήμα 1) παρατηρήθηκε ότι, τα σημεία είναι μετατοπισμένα προς το κάτω όριο (οριογραμμή μέγιστης διαπνοής), γεγονός που υποδεικνύει ότι η χορηγούμενη ποσότητα νερού ήταν επαρκής για την κάλυψη των υδατικών αναγκών των φυτών σε νερό, και τα φυτά δεν υφίστανται την υδατική καταπόνηση τουλάχιστον όχι σε μεγάλο βαθμό.

Στη Dry μεταχείριση (σχήμα 1) τα περισσότερα σημεία είναι μετατοπισμένα προς το άνω όριο: ένδειξη της υδατικής καταπόνησης που υφίστανται τα φυτά, όταν η χορηγούμενη ποσότητα αρδευτικού νερού μειώνεται (κατά 50%). Με τη μείωση της ποσότητας αρδευτικού νερού τα φυτά υπόκεινται σε συνθήκες υδατικής καταπόνησης, λόγω των αυξημένων αναγκών τους σε νερό. Παρόμοιο διάγραμμα δημιουργήθηκε και για το υβρίδιο Sanay.

Στον πίνακα 1 που ακολουθεί παρουσιάζονται κάποια από τα αποτελέσματα της ANOVA για τα χαρακτηριστικά της παραγωγής των 2 υβριδίων. Συγκεκριμένα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα σύμφωνα με το στατιστικό κριτήριο F από το οποίο προκύπτει αν υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές για τα εν λόγω χαρακτηριστικά (Prob>F).

Πίνακας1.Στοιχεία αποτελεσμάτων ANOVA (Prob>F)

Πηγή Παραλλακτικότητας	Διάμετρος Βλαστού	Ξηρό Βάρος Ταξιανθίας	Ολικό Ξηρό Βάρος	Βάρος 1000 σπόρων	Περιεκτικότητα σπόρων σε λάδι
Υβρίδιο (Tristan - Sanay)	0,7391	0,0001*	0,0087*	0,5666	0,0011*
Επέμβαση (Wet - Dry)	0,0077*	0,0141*	0,0107*	0,0085*	0,3242
Υβρίδιο x Επέμβαση	0,08585	0,0118*	0,0453*	0,01558	0,0004*
Σημ. * σημαίνει ότι υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά σε επίπεδο σημαντικότητας 95%					

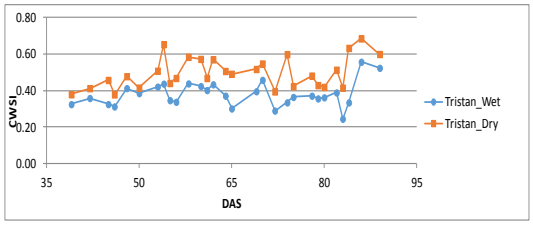
Επειδή, όπως φαίνεται στον παραπάνω πίνακα, υπάρχει αλληλεπίδραση μεταξύ υβριδίων και επέμβασης, για τα χαρακτηριστικά ξηρό βάρος ταξιανθίας, ολικό ξηρό βάρος φυτού και περιεκτικότητα σπόρων σε λάδι, έγινε σύγκριση των αντιστοίχων μέσων όρων και με τη μέθοδο της

ελάχιστης σημαντικής διαφοράς, της οποίας τα αποτελέσματα δίνονται στον παρακάτω πίνακα 2.

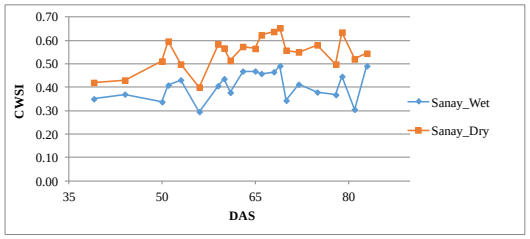
Πίνακας 2. Αποτελέσματα σύγκρισης μέσων όρων με τη μέθοδο της ελάχιστης σημαντικής διαφοράς στις περιπτώσεις αλληλεπίδρασης.

Μεταχείριση	Ξηρό Βάρος Ταξιανθίας (gr)	Ολικό Ξηρό Βάρος (gr)	Περιεκτικότητα σπόρων σε λάδι (% w/w)
Tristan Wet	135,82 a	230,27 a	42,20 bc
Tristan Dry	81,42 b	147,38 c	44,27 a
Sanay Wet	91,01 b	188,91 b	42,50 b
Sanay Dry	63,04 c	138,89 c	41,47 c
Σημ. Μεταχειρίσεις που δεν ακολουθούνται από το ίδιο γράμμα παρουσιάζουν σημαντική διαφορά.			

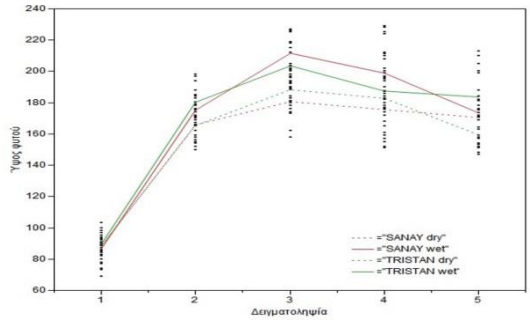
Στα σχήματα 2 και 3, παρουσιάζεται η μεταβολή του CWSI σε σχέση με τον αριθμό ημερών μετά τη σπορά (DAS) κατά τη διάρκεια των σταδίων ανάπτυξης της καλλιέργειας και για τις δύο υδατικές μεταχειρίσεις (Wet-Dry). Στα σχήματα 4, 5 και 6 παρουσιάζονται αντίστοιχα οι μεταβολές των χαρακτηριστικών: ύψος φυτού, LAI και ολικό ξηρό βάρος φυτού, όπως προσδιορίστηκαν από τις 5 δειγματοληψίες, για τα δύο υβρίδια και τις δύο μεταχειρίσεις άρδευσης.



Σχήμα 2. Μεταβολή του CWSI στο υβρίδιο Tristan.



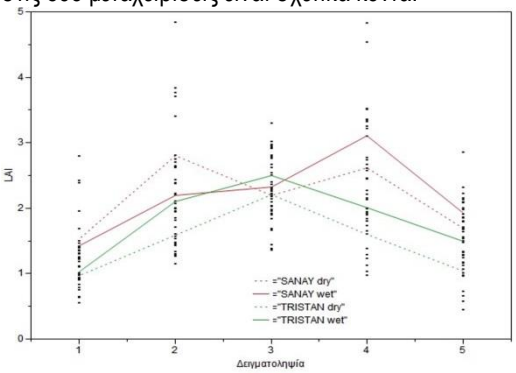
Σχήμα 3. Μεταβολή του CWSI στο υβρίδιο Sanay.



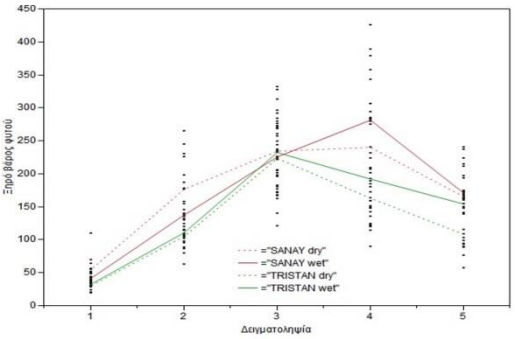
Σχήμα 4. Μεταβολή του ύψους φυτού (cm) κατά τις δειγματοληψίες

4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Παρατηρώντας τα πειραματικά σημεία στο σχήμα 1 είναι δυνατό να συμπεράνει κανείς ότι η υδατική καταπόνηση του υβριδίου Tristan στη Dry μεταχείριση δεν διέφερε πολύ από τη Wet μεταχείριση, γεγονός που μπορεί να εξακριβωθεί και από το σχήμα 2 όπου οι τιμές που είχε ο CWSI και στις δύο μεταχειρίσεις είναι σχετικά κοντά.



Σχήμα 5. Μεταβολή του LAI κατά τις δειγματοληψίες .



Σχήμα 6. Μεταβολή του ξηρού βάρους φυτού (gr) κατά τις δειγματοληψίες.

Έτσι η μέση τιμή του CWSI για το υβρίδιο Tristan ήταν 0,38 για τη Wet μεταχείριση και 0,50 για τη Dry μεταχείριση. Οι αντίστοιχες τιμές του CWSI για το υβρίδιο Sanay (βλ. σχήμα 3) ήταν 0,41 για τη Wet μεταχείριση και 0,55 για τη Dry μεταχείριση, γεγονός που δείχνει ότι το υβρίδιο Sanay είναι πιο απαιτητικό σε νερό απ' ότι το Tristan. Βέβαια, όπως φαίνεται από τα σχήματα 2 και 3, ενώ για το υβρίδιο Tristan οι μικρές διαφορές στον CWSI για τις δύο μεταχειρίσεις διατηρούνται καθ' όλα τα στάδια της ανάπτυξης, στο υβρίδιο Sanay μεγαλύτερες διαφορές στον CWSI μεταξύ των δύο μεταχειρίσεων παρουσιάζονται στο στάδιο της άνθησης και διαμόρφωσης της παραγωγής (από DAS=50 και μετά). Συνοψίζοντας από πλευράς υδατικής καταπόνησης και για τα δύο υβρίδια μπορεί να εξαχθεί το συμπέρασμα, ότι εφαρμόζοντας άρδευση με μεγάλη συχνότητα, πράγμα που επιτυγχάνεται με τη μέθοδο στάγδην άρδευσης καλύπτοντας ακόμη και τις μισές απαιτήσεις των φυτών σε νερό, δεν καταπονούνται ιδιαίτερα τα φυτά και μπορεί να εξοικονομηθεί νερό άρδευσης, με αποτέλεσμα να υπάρχει δυνατότητα εξυπηρέτησης μεγαλύτερης έκτασης. Από πλευράς χαρακτηριστικών της παραγωγής, σύμφωνα με τα στοιχεία του πίνακα 1 ως προς τη διάμετρο του βλαστού, δεν υπήρξε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των υβριδίων, ενώ αντίθετα υπήρξε στατικά σημαντική διαφορά μεταξύ των μεταχειρίσεων. Ως προς το ξηρό βάρος ταξιανθίας καθώς και το ολικό ξηρό βάρος του

φυτού, υπήρξε στατιστικά σημαντική διαφορά τόσο ως προς τα υβρίδια, όσο και ως προς τη μεταχείριση, ενώ συγρόνως υπάρχει και αλληλεπίδραση μεταξύ υβριδίου και μεταχείρισης. Ως προς το βάρος 1000 σπόρων και κατά συνέπεια ως προς την παραγωγή, υπήρξε στατιστικά σημαντική διαφορά μόνο μεταξύ Wet και Dry μεταχείρισης και για τα δύο υβρίδια. Ως προς την περιεκτικότητα των σπόρων σε λάδι υπήρξε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των υβριδίων ενώ υπάρχει και αλληλεπίδραση μεταξύ υβριδίων και μεταχειρίσεων. Έτσι μετά τη στατιστική επεξεργασία με τη μέθοδο της ελάχιστης σημαντικής διαφοράς και σύμφωνα με τα αναγραφόμενα στοιχεία του πίνακα 2 για τις περιπτώσεις ύπαρξης αλληλεπίδρασης μεταξύ υβριδίων και μεταχειρίσεων, προέκυψαν τα εξής συμπεράσματα: Ως προς το ξηρό βάρος ταξιανθίας, υπάρχει σημαντική διαφορά των δύο υβριδίων τόσο στη Wet μεταχείριση, όσο και στη Dry. Επίσης υπάρχει σημαντική διαφορά και μεταξύ των μεταχειρίσεων τόσο για το υβρίδιο Tristan όσο και για το Sanay. Έτσι η σύγκριση των μέσων όρων για το χαρακτηριστικό αυτό, δείχνει ότι πιο ευαίσθητο υβρίδιο στην ελλειμματική άρδευση είναι το Tristan. Ως προς το ολικό ξηρό βάρος φυτού υπάρχει σημαντική διαφορά μεταξύ Wet και Dry μεταχείρισης και για τα δύο υβρίδια αντίστοιχα. Δεν υπάρχει σημαντική διαφορά μεταξύ των Dry μεταχειρίσεων για τα δύο υβρίδια, ενώ υπάρχει σημαντική διαφορά μεταξύ των Wet μεταχειρίσεων. Και πάλι η σύγκριση των μέσων όρων έδειξε ότι πιο ευαίσθητο στην εφαρμογή ελλειμματικής άρδευσης είναι το υβρίδιο Tristan. Ως προς την περιεκτικότητα των σπόρων σε λάδι, και κατ' επέκτασιν για τη δυνατότητα χρήσης του σπόρου για παραγωγή βιοκαυσίμου, υπάρχει σημαντική διαφορά μεταξύ των μεταχειρίσεων τόσο για το υβρίδιο Tristan, όσο και για το Sanay, καθώς και μεταξύ των δύο υβριδίων για την ίδια μεταχείριση. Η αλληλεπίδραση όμως που παρατηρήθηκε στην περίπτωση της περιεκτικότητας του σπόρου σε λάδι έδειξε ότι είναι αλληλεπίδραση κατεύθυνσης. Έτσι, κατά τη σύγκριση, στη μεν περίπτωση του υβριδίου Sanay η περιεκτικότητα του σπόρου σε λάδι μειώθηκε με την εφαρμογή ελλειμματικής άρδευσης, ενώ στην περίπτωση του υβριδίου Tristan, αυξήθηκε και μάλιστα σημαντικά.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Αργυροκαστρίτης Ι., Σ. Φραγκίστα, Χ. Βαμβακούλας, Θ. Δαμιανίδης, Σ. Αλεξανδρής και Π. Παπαστυλιανού, 2009. Μεταβολή του δείκτη υδατικής καταπόνησης δύο ποικιλιών ηλίανθου υπό συνθήκες ελλειμματικής άρδευσης. Πρακτικά 6ου Πανελλήνιου Συνεδρίου Εταιρείας Γεωργικών Μηχανικών Ελλάδος, Θεσσαλονίκη σ. 107-114.

Fadi Karam, Rafic Lahoud , Randa Masaad , Rabih Kabalan, Joelle Breidi, Claude Chalita, Youssef Rouphael, 2007. Evapotranspiration, seed yield and water use efficiency of drip irrigated sunflower under full and deficit irrigation conditions. Agricultural Water Management 90:213-223.

Goopy J. and L. Creighton (2007) Introduction to Design of Experiments with JMP® Examples, Third Edition, Copyright © 2007, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA, pp. 468

Howell T.A., J. L. Hatfield, H. Yamada, and K.R. Davis, 1984. Evaluation of cotton canopy temperature to detect crop water stress. Trans. ASAE 27:84-88.

Idso S.B., Jackson R. D., Pinter P.J. Jr., Reginato R.J., Hatfield J.L, 1981 a. Normalizing the stress-degree - day parameter for environmental variability. Agric. Meteor.124:45.

Idso S.B., Jackson R. D., Pinter P.J. Jr., Reginato R.J., Hatfield J.L, 1981 b. Measuring yield - plant water potential depressions in alfalfa by means of Infrared thermometry. Agron.J.73: 826.

Jackson, R.D., and S.B. Idso, 1969. Ambient temperature effect in infrared thermometry. Agron. J. 61:324-325.

Jackson R.D., 1982. Canopy temperature and crop water stress. Adv. Irrig.1:43–85.

Karamanos A.J., 2003. Leaf Water Potential In Encyclopedia of Water Science.

O'Toole J.C., N.C. Turner, O.P. Nainuco, M. Dingkukn, and K.A. Gomez, 1984. Comparison of some crop water stress measurement methods. Crop Sci. 24: 1121-1128.

Pinter P.J.Jr. and R.J. Reginato, 1982. A thermal infrared technique for monitoring cotton water stress and scheduling irrigation. Trans. ASAE 25: 1651-1655.

Reginato R.J.,1983. Field quantification of crop water stress. Trans.ASAE 26:772-775.

Reginato R.J., and J. Howe. 1985. Irrigation scheduling using crop indicators. J. Irrig. Drain. Eng. 3:125-133.

Reginato R.J., and D.J. Garrot Jr.,1987. Irrigation scheduling with the crop water stress index. In: Western Cotton Production Conf. Summary AZ. 18-20 August, 1987. Cotton Growers Assoc., Memphis, TN. pp. 7-10.

Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη Μ., Χ. Τζιμόπουλος, Χ. Νάκας, Ε. Καρατάσιου, Χ. Παπανικολάου, 2012. Συγκριτική ανάλυση αυτοματοποιημένων μεθόδων άρδευσης. Πρακτικά 2ου Κοινού Συνεδρίου ΕΥΕ-ΕΕΔΥΠ, Πάτρα, Οκτώβριος 2012, 791-801

Steduto P., T. Hsiao, E. Fereres, D. Raes (2012). Yield Response to Water, FAO Irrigation and Drainage paper No 66, Rome, Italy, pp 500.

Thom, A.S. and H.R. Oliver 1977. On Penman's equation for estimating regional Evaporation. Q.J. Roy. Met. Soc. 103: 345-357.

Wanjura D.F., J.L. Hatfield and D.R. Upchurch, 1990. Crop water stress index relationship with crop productivity. Irrig. Sci. 11:93-99.

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΙΜΩΝ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ ΣΤΟΝ ΚΟΡΕΣΜΟ ΑΔΙΑΤΑΡΑΚΤΩΝ ΚΑΙ ΔΙΑΤΑΡΑΓΜΕΝΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ ΣΕ ΔΥΟ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΑΡΔΕΥΣΗΣ (ΝΕΡΟ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΜΕΝΗ ΕΚΡΟΗ ΤΡΙΤΟΒΑΘΜΙΟΥ ΒΙΟΛΟΓΙΚΟΥ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΥ)

Γεώργιος Μπουραζάνης[1], Ελένη Χαριτίδου[2], Ιωάννης Αργυροκαστρίτης[3] Πέτρος Κερκίδης[4]
[1]Δ/νση Αγροτικής Οικονομίας & Κτηνιατρικής, Περιφερειακή Ενότητα Λακωνίας, Περιφέρεια Πελοποννήσου, 2Ο χλμ. Ε.Ο. Σπάρτης Γυθείου, 23100 Σπάρτη,
[2,3,4]Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Ιερά Οδός 75, 18500 Αθήνα
gbourazanis@windtools.gr, eleni-gl@hotmail.com, jarg@aua.gr, kerkides@aua.gr

Στην Ελλάδα η μετατροπή ξηρικών καλλιεργειών σε αρδευόμενες και η επέκταση της καλλιέργειας, κυρίως της ελιάς, ωθεί τους παραγωγούς σε διάνοιξη βαθύτερων γεωτρήσεων, με αύξηση του κόστους εξόρυξης και του κόστους εγκατάστασης και λειτουργίας του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού. Την ίδια στιγμή, η υπερεκμετάλλευση των υδροφόρων στρωμάτων προξενεί την είσοδο θαλασσινού νερού σε παραθαλάσσια υδροφόρα στρώματα. Υπ' αυτές τις συνθήκες, προβάλλει ως ελκυστική λύση η επαναχρησιμοποίηση των επεξεργασμένων υγρών αστικών αποβλήτων (ΕΥΑΑ) για άρδευση, στην προσπάθεια βελτίωσης του υδατικού ισοζυγίου, σε επίπεδο υδρολογικών λεκανών. Το Ελληνικό Κράτος, εξέδωσε την ΚΥΑ 145119/2011 (ΦΕΚ 354 Β΄/8-3-11) «Καθορισμός μέτρων, όρων και διαδικασιών για την επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων και άλλες διατάξεις» Στο πλαίσιο αυτό, σε αγρό ελαιοκαλλιέργειας πέντε στρεμμάτων, σχεδιάστηκε και υλοποιήθηκε πείραμα αρδεύσεως διετούς διάρκειας, με δύο επεμβάσεις: Στη μία επέμβαση έγινε άρδευση με καλής ποιότητας αρδευτικό νερό από γεώτρηση, ενώ στην άλλη έγινε άρδευση με εκροή τριτοβάθμιου βιολογικού καθαρισμού υγρών αστικών αποβλήτων. Μετά το πέρας της διετίας, έγινε δειγματοληψία αδιατάρακτων επιφανειακών δειγμάτων και προσδιορίσθηκε η υδραυλική αγωγιμότητα στον κορεσμό ($Ks^{undisturbed}$). Περαιτέρω, τα δείγματα αυτά αεροξηράνθηκαν και κοσκινίστηκαν, για να ληφθούν τα μικρότερης διαμέτρου εδαφικά τεμαχίδια, τα οποία ξαναπακεταρίσθηκαν με την ίδια φαινόμενη πυκνότητα (ρ_ϕ) με τα αντίστοιχα αδιατάρακτα δείγματα και επαναλήφθηκε ο προσδιορισμός της $Ks^{disturbed}$. Στην παρούσα ανακοίνωση, υλοποιήθηκαν συγκρίσεις που ανέδειξαν διαφορές μεταξύ των Ks, τόσο των αδιατάρακτων, όσο και των διαταραγμένων δειγμάτων, που αρδεύτηκαν με νερό έναντι αυτών που αρδεύτηκαν με επεξεργασμένο απόβλητο.

Λέξεις κλειδιά: Άρδευση, επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα, υδραυλική αγωγιμότητα στον κορεσμό

COMPARING SATURATED HYDRAULIC CONDUCTIVITY DETERMINED FOR UNDISTURBED AND REPACKED SURFACE SOIL SAMPLES IN TWO IRRIGATION APPLICATIONS (WATER AND TERTIARY TREATED MUNICIPAL WASTEWATER EFFLUENT)

George Bourazanis[1], Helen Haritidou[2], Ioannis Argyrokastritis[3], Petros Kerkides[4]
[1] Department of Rural Economy and Veterinary of Regional Government of Laconia, Sparta, Laconia, 23100, Greece
[2,3,4] Laboratory of Agricultural Hydraulics, Department of Natural Resources development and Agricultural Engineering University of Athens, 11855, Athens, Greece
gbourazanis@windtools.gr , eleni-gl@hotmail.com , jarg@aua.gr, kerkides@aua.gr

In Greece the conversion of rain fed crops in irrigated and the extension of cultivation, mainly olive trees make producers mining deep drilling, increasing both the extraction cost, and the cost of installation and operation of electromechanical equipment. At the same time, the overexploitation of groundwater causes intrusion of sea water into the coastal aquifers. In this scene, emerges as an attractive solution the reuse of treated municipal wastewater (TMWW) for irrigation in an effort to improve the water balance at catchment areas. The Greek State legislated the 145119/2011 (Government Gazette 354 B/8-3-2011) Joint Ministerial Decision titled "For measures, procedures and processes for the reuse of treated wastewater and other provisions". In this context in a five acres olive orchard designed and implemented irrigation experiment with two applications for two years,: The first application was irrigated with good quality irrigation water from a drilling, while the second was irrigated with TMWW. After two years, surface undisturbed soil cores were sampled and the hydraulic conductivity at saturation was determined. ($K_s^{undisturbed}$). Furthermore these samples airdryed sieved (d<2mm) and repacked with the same bulk density (ρ_ϕ) as the undisturbed respectively. After this we also determined the hydraulic conductivity at saturation for the disturbed and repacked soil cores ($K_s^{disturbed}$). In this paper, comparisons are made and differences between Ks of both undisturbed, and disturbed samples revealed, which were irrigated with water versus those irrigated with treated effluent.

Key Words: Irrigation, treated municipal waste water, saturated hydraulic conductivity

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η υδραυλική αγωγιμότητα στον κορεσμό είναι μείζονος σημασίας ιδιότητα κατά τον προγραμματισμό των αρδεύσεων, δεδομένου ότι μέσω αυτής προσδιορίζεται η μέγιστη παροχή του μέσου εφαρμογής του νερού στον αγρό (τοπικές αρδεύσεις, τεχνητή βροχή) ή λαμβάνεται υπ' όψιν στον προσδιορισμό των διαστάσεων των λεκανών των λωρίδων και των αυλακιών στις επιφανειακές μεθόδους άρδευσης.

Η προσθήκη αλάτων νατρίου μέσω της άρδευσης με ΕΥΑΑ παίζει σημαντικό ρόλο στην μεταβολή της υδραυλικής αγωγιμότητας και η επίδρασή τους περιορίζεται στα πρώτα εκατοστά του εδάφους (Πανωρας και Ηλίας 1999). Εν γένει στην υδραυλική αγωγιμότητα στον κορεσμό επιδρούν με διαφορετικούς μηχανισμούς η ποσότητα η αναλογία και το είδος των αλάτων, η οργανική ουσία αλλά και τα αιωρούμενα στερεά που περιέχονται στα ΕΥΑΑ (Levy and Assouline 2011). Η επίδραση αυτή γίνεται εμφανής τόσο κατά τη διάρκεια της αρδευτικής περιόδου όσο και κατά τη διάρκεια της επερχόμενης περιόδου βροχοπτώσεων (Levy and Assouline 2011). Μεγάλης σημασίας είναι ο βαθμός επεξεργασίας καθώς και η μέθοδος χορήγησης του νερού (Πανώρας και Ηλίας 1999).

Στα ΕΥΑΑ που χρησιμοποιήθηκαν για άρδευση διενεργήθηκαν όλες οι από το νόμο προβλεπόμενες αναλύσεις για κάθε γεγονός άρδευσης. Βάσει των αποτελεσμάτων των αναλύσεων και της κείμενης νομοθεσίας τα ΕΥΑΑ χαρακτηρίζονταν ως μηδαμινού ή μικρού έως μέτριου κινδύνου για την μεταβολή της διηθητικότητας (ΚΥΑ 145119/2011 Παράρτημα ΙΙΙ Πίνακας 5) χαρακτηρισμός που εξάγεται από την συσχέτιση τιμών του λόγου προσροφημένου νατρίου (SAR) και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC).

Μετά από δύο αρδευτικές περιόδους έγινε δειγματοληψία επιφανειακών αδιατάρακτων εδαφικών δειγμάτων στα οποία προσδιορίσθηκε η υδραυλική αγωγιμότητα στον κορεσμό ($Ks^{undisturbed}$) Ακολούθως τα δείγματα αυτά αεροξηράνθηκαν και ξαναπακεταρίσθηκαν με την ίδια φαινόμενη πυκνότητα (ρ_φ) των αδιατάρακτων δειγμάτων αντιστοίχως και έγινε εκ νέου προσδιορισμός της υδραυλικής αγωγιμότητας στον κορεσμό $Ks^{disturbed}$. Το χρησιμοποιηθέν υγρό ήταν απεσταγμένο νερό, το οποίο χρησιμοποιείται σε εργαστηριακά πειράματα προσδιορισμού της υδραυλικής αγωγιμότητας στον κορεσμό, επί εδαφικών δειγμάτων, προσομοιάζοντας την επίδραση της βροχόπτωσης μετά την αρδευτική περίοδο (Levy and Assouline 2011).

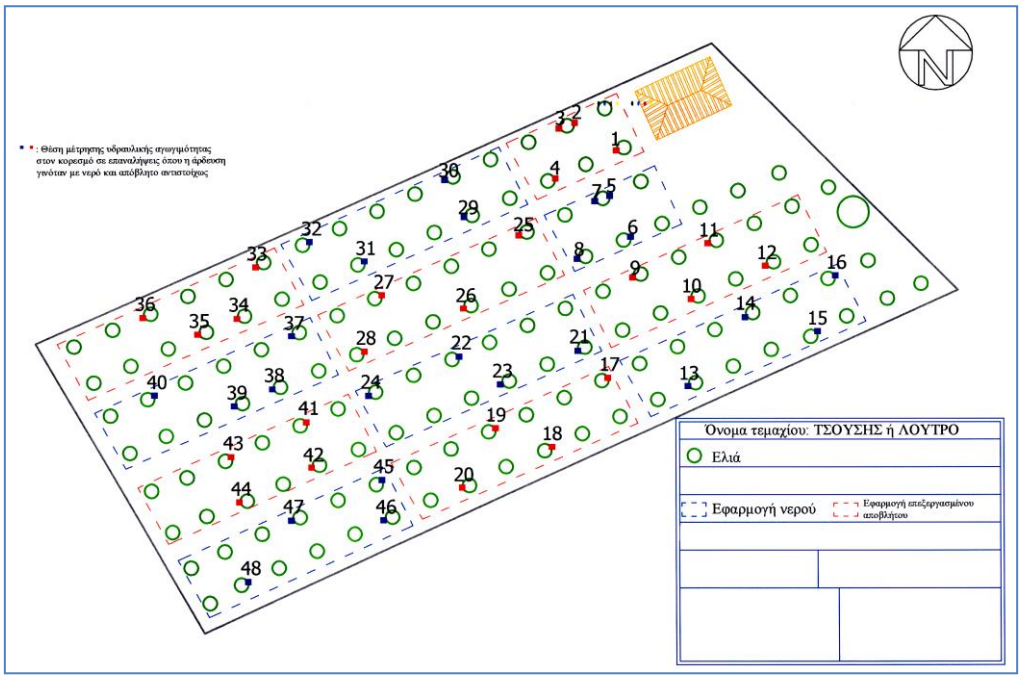
Στόχος είναι να διαπιστωθεί αν προκύπτουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των τιμών της υδραυλικής αγωγιμότητας των δειγμάτων, που αρδεύτηκαν με νερό και εκείνων που αρδεύτηκαν με ΕΥΑΑ, και συνεπώς να εξαχθούν συμπεράσματα για το ποια θα είναι η επίδραση της βροχόπτωσης στην ακολουθούσα χειμερινή περίοδο.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1.Πειραματικός Αγρός

Νοτίως της Σπάρτης σε αρδευόμενο ελαιοτεμάχιο 5 στρεμμάτων εγκαταστάθηκε πειραματικός αγρός.

Εικόνα 9. Ελαιοτεμάχιο στο οποίο εγκαταστάθηκε το πείραμα



Εικόνα 10. Σχέδιο του πειραματικού αγρού με τις επαναλήψεις των δύο εφαρμογών καθώς και τα σημεία δειγματοληψίας

Αφού μελετήθηκαν οι πιθανές πηγές παραλλακτικότητας, έγινε επιλογή της χωροθέτησης των επαναλήψεων των δύο εφαρμογών και έτσι αποφασίστηκαν έξι επαναλήψεις για κάθε εφαρμογή. Κάθε επανάληψη περιελάμβανε δώδεκα ελιές.(Εικόνα 2)

Η άρδευση γινόταν με δύο καταιονιστήρες ανά ελαιόδενδρο παροχής 90 lt/h ο καθένας.

2.2.Δειγματοληψία

Τα δείγματα ελήφθησαν από τα σημεία που εμφανίζονται στην Εικόνα 2 (κόκκινα στίγματα-απόβλητο και μπλε στίγματα-νερό) και εντός του κύκλου διαβροχής του καταιονιστήρα. Για την λήψη των αδιατάρακτων εδαφικών δειγμάτων χρησιμοποιήθηκαν τεμάχια μεταλλικών κυλίνδρων πολύ λεπτού τοιχώματος ύψους 15 cm και διαμέτρου 7,6 cm. Αυτά εισάγονταν με πίεση εντός του εδάφους ώστε να ληφθεί ένα εδαφικό δείγμα ύψους περίπου 10 cm. Η αφαίρεσή του δειγματολήπτη γινόταν με σκάψιμο περιφερειακά της σωληνώσεως, μέχρι του κατώτερου σημείου της και ακολούθως τομή του εδάφους στη βάση του δειγματολήπτη με ένα μαχαίρι. Ελήφθησαν τέσσερα δείγματα ανά επανάληψη ήτοι 24 δείγματα ανά εφαρμογή.

2.3. Προσδιορισμός της Υδραυλικής Αγωγιμότητας στον Κορεσμό

Για τον προσδιορισμό της υδραυλικής αγωγιμότητας στον κορεσμό χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος του σταθερού φορτίου (Klute 2006) με χρήση αποσταγμένου νερού.

Στο κάτω μέρος των δειγμάτων τοποθετήθηκε ύφασμα μαζί με λεπτή σήτα και δέθηκαν πάνω στην μεταλλική σωλήνα με σφικτήρα.

Εικόνα 11. Παρουσίαση τοποθέτησης υφάσματος και σήτας στην βάση της σωλήνας με σφικτήρα

Ακολούθησε κορεσμός από κάτω των δειγμάτων και διατήρηση σταθερής στάθμης ύψους Η με τη χρήση σωλήνα Mariotte.

Εικόνα 12. Κορεσμός δειγμάτων

Επειδή η στάθμη αυτή μπορεί να έχει ένα μέγιστο (τη στιγμή που τελειώνει η προσθήκη νερού από το Mariotte στο δείγμα) και ένα ελάχιστο (τη στιγμή πριν προστεθεί νερό από το Mariotte στο δείγμα) παίρνουμε ως Η το μέσο όρο των δύο τιμών. Καλό είναι κατά την κατασκευή του Mariotte αυτό να προσεχθεί, ώστε να μην απέχουν αυτές οι τιμές μεταξύ τους. Στη συνέχεια και ανά τακτά διαστήματα μετρούμε τον όγκο του νερού, που εξέρχεται από τη

βάση του δείγματος. Προσδιορίζουμε την Κς ως ακολούθως:

Με βάση τις μετρήσεις του όγκου του εξερχόμενου νερού, έχουμε

$$u_z = \frac{4V_{(t)}}{\pi d^2 t} \quad (1)$$

και με βάση το νόμο του Darcy

$$u_z = K_s \frac{H+L}{L} \quad (2)$$

Από τις (1) και (2) έχουμε:

$$K_s = \frac{4V_{(t)}L}{\pi d^2 t(H+L)} \quad (3)$$

Όπου:

d	Διάμετρος Δείγματος
L	Ύψος Δείγματος
H	Ύψος στάθμης νερού
V(t)	Όγκος νερού που διέρχεται από το δείγμα στο χρόνο
S	Εμβαδόν διατομής δείγματος
k_s	Υδραυλική αγωγιμότητα στον κορεσμό

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

3.1. Πειραματικά αποτελέσματα

Οι δύο επεμβάσεις τοποθετήθηκαν στα πειραματικά τεμάχια σύμφωνα με το σχέδιο των Τυχαιοποιημένων Πλήρων Ομάδων. Η ομαδοποίηση έγινε για να απομακρυνθεί τυχόν παραλλακτικότητα που οφείλεται στην ανομοιομορφία του εδάφους και δημιουργήθηκαν έξι ομάδες. Μετά τη διενέργεια των πειραμάτων προσδιορισμού της Ks καταλήξαμε στον ακόλουθο πίνακα τιμών υδραυλικής αγωγιμότητας τόσο για τα αδιατάρακτα δείγματα, όσο και για τα διαταραγμένα και ξαναπακεταρισμένα.

Πίνακας 8. Τιμές υδραυλικής αγωγιμότητας στον κορεσμό

α/α Δείγματος	Εφαρμογή[2]	$Ks^{Disturbed}$ (cm/min)	$Ks^{Undisturbed}$ (cm/min)
1	A	2.38	53.31
2	A	3.72	5.54
3	A	2.37	81.71
4	A	6.00	50.10
5	N	2.05	2.29
6	N	3.81	12.02
7	N	1.37	42.16
8	N	3.83	12.18
9	A	4.19	1.18
10	A	5.53	27.51
11	A	4.55	1.16
12	A	2.43	0.78
13	N	7.93	22.57
14	N	2.50	1.65
15	N	1.19	6.98
16	N	2.59	5.73
17	A	7.98	33.08
18	A	3.66	12.13
19	A	4.05	1.85
20	A	7.61	5.78
21	N	1.45	26.62
22	N	1.72	7.39
23	N	2.19	3.96
24	N	1.08	11.73
25	A	3.74	25.92
26	A	2.77	9.46
27	A	3.20	49.20
28	A	2.00	12.98
29	N	0.97	81.49
30	N	0.93	91.54
31	N	2.31	54.05
32	N	6.96	88.87
33	A	4.46	67.75
34	A	5.97	71.82
35	A	5.56	30.14
36	A	4.04	55.07
37	N	3.18	101.42
38	N	3.34	105.48
39	N	1.34	100.04
40	N	1.83	24.03
41	A	2.94	75.52
42	A	9.22	70.19
43	A	4.86	59.63
44	A	11.61	39.18
45	N	1.44	45.77
46	N	2.23	47.75
47	N	2.28	110.80
48	N	2.44	108.03

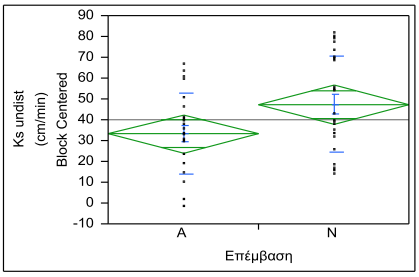
Στα πιο πάνω στοιχεία πραγματοποιήθηκε στατιστική επεξεργασία, με χρήση του λογισμικού JMP, όπως περιγράφεται διεξοδικά στο εγχειρίδιο (Συμιλλίδης 2010) Αρχικά έγινε έλεγχος της κανονικότητας των δεδομένων με τη δοκιμασία Shapiro-Wilk (Shapiro and Wilk 1965, Συμιλλίδης 2010) και έλεγχος της ομοσκεδαστικότητας (ομοιογένειας διακυμάνσεων) των επεμβάσεων με τη δοκιμασία Levene (Levene, 1960, Συμιλλίδης 2010). Για την απομάκρυνση των ακραίων τιμών χρησιμοποιήθηκε η δοκιμασία του Dixon (Dixon, 1950, Dixon, 1951, Rorabacher, 1991, Συμιλλίδης 2010).

3.1.1 Επεξεργασία τιμών υδραυλικής αγωγιμότητας αδιατάρακτων δειγμάτων $Ks^{undisturbed}$

Από την Ανάλυση Διασποράς στα αδιατάρακτα εδαφικά δείγματα τα πειραματικά τεμάχια που δέχτηκαν άρδευση με καθαρό νερό είχαν στατιστικά σημαντικά μεγαλύτερη μέση τιμή υδραυλικής αγωγιμότητας στον κορεσμό $Ks^{undisturbed\ water}$ = 47,3 cm/min (Πίνακας 4) σε σχέση με τα πειραματικά τεμάχια που δέχτηκαν άρδευση με ΕΥΑΑ με μέση τιμή $Ks^{undisturbed\ Wastewater}$ 33,2 cm/min. (Πίνακας 4)

Πίνακας 9. Στατιστική ανάλυση των πειραματικών δεδομένων για τα αδιατάρακτα δείγματα

R^2	0,61
R^2 Adj	0,56
Τυπική Απόκλιση	22,59
Μέσος Όρος Πειράματος	40,26
Αριθμός Παρατηρήσεων	48
CV %	55,8



Διάγραμμα 7. Παρουσίαση της στατιστικής ανάλυσης των πειραματικών δεδομένων για τα αδιατάρακτα δείγματα

Διαπιστώνουμε ότι στα αδιατάρακτα εδαφικά δείγματα, χρησιμοποιώντας το σχέδιο των Τυχαιοποιημένων Πλήρων Ομάδων, το μοντέλο ερμήνευσε το 61% (Συντελεστής προσδιορισμού R^2) της παραλλακτικότητας ενώ ο συντελεστής παραλλακτικότητας (CV) είναι 55.8% (Πίνακας 2).

2 A: Απόβλητο και N: Νερό

Πίνακας 10. Ανάλυση Διασποράς

Πηγή Παραλλακτικότητας	BE	Άθροισμα τετραγώνων	Μέσο Τετράγωνο	F Ratio	Prob > F
Επέμβαση	1	2411,73	2411,73	4,7258	0,0355*
Ομάδα	5	31670,97	6334,19	12,411	<,0001*
Υπόλοιπο	41	20923,74	510,34		
Σύνολο	47	55006,44			

Από την δοκιμασία του F (Πίνακας 3) παρατηρούμε ότι υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των δύο επεμβάσεων αφού F=0.0355<0.05 (5%: επίπεδο σημαντικότητας).

Πίνακας 11. Μέσοι όροι των επεμβάσεων

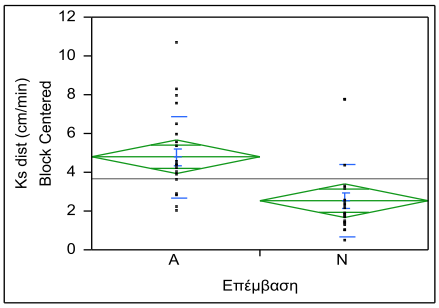
Επέμβαση	Παρατηρήσεις	Μ.Ο.	Τυπική Απόκλιση	Τυπικό σφάλμα
A	24	33,1783	19,5602	3,9927
N	24	47,3550	22,9593	4,6865

3.1.2 Επεξεργασία τιμών υδραυλικής αγωγιμότητας διαταραγμένων δειγμάτων $Ks^{disturbed}$

Από την Ανάλυση Διασποράς στα διαταραγμένα εδαφικά δείγματα τα πειραματικά τεμάχια που δέχτηκαν άρδευση με ΕΥΑΑ είχαν αντιθέτως από τα αδιατάρακτα στατιστικά σημαντικά μεγαλύτερη μέση τιμή υδραυλικής αγωγιμότητας στον κορεσμό $Ks^{disturbed\ wastewater}$ = 4,78 cm/min (Πίνακας 7) σε σχέση με τα πειραματικά τεμάχια που δέχτηκαν άρδευση με νερό με μέση τιμή $Ks^{disturbed\ water}$ 2,45 cm/min (Πίνακας 7).

Πίνακας 12. Στατιστική ανάλυση των πειραματικών δεδομένων για τα διαταραγμένα δείγματα

R2	0,29
R2 Adj	0,19
Τυπική Απόκλιση	2,11
Μέσος Όρος Πειράματος	3,66
Αριθμός Παρατηρήσεων	48
CV %	57,63



Διάγραμμα 8. Παρουσίαση της στατιστικής ανάλυσης των πειραματικών δεδομένων για τα διαταραγμένα δείγματα

Διαπιστώνουμε ότι στα διαταραγμένα εδαφικά δείγματα, χρησιμοποιώντας το σχέδιο των Τυχαιοποιημένων Πλήρων Ομάδων, το μοντέλο ερμήνευσε το 29% (Συντελεστής προσδιορισμού R^2) της παραλλακτικότητας ενώ ο συντελεστής παραλλακτικότητας (CV) είναι 57.63% (Πίνακας 5).

Πίνακας 13. Ανάλυση Διασποράς

Πηγή Παραλλακτικότητας	BE	Άθροισμα τετραγώνων	Μέσο Τετράγωνο	F Ratio	Prob > F
Επέμβαση	1	60,48	60,48	13,58	0,0007*
Ομάδα	5	14,75	2,95	0,66	0,6541
Υπόλοιπο	41	182,63	4,45		
Σύνολο	47	257,86			

Από την δοκιμασία του F (Πίνακας 6) παρατηρούμε ότι υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των δύο επεμβάσεων αφού F=0.0007<0.05 (5%: επίπεδο σημαντικότητας).

Πίνακας 14. Μέσοι όροι των επεμβάσεων

Επέμβαση	Παρατηρήσεις	Μ.Ο.	Τυπική Απόκλιση	Τυπικό σφάλμα
A	24	4,78500	2,10218	0,42910
N	24	2,54000	1,87653	0,38304

4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα αποτελέσματα τέτοιου είδους εργαστηριακών πειραμάτων ποικίλλουν, ανάλογα με την κοκκομετρία και λοιπές συνθήκες που επικρατούν στο έδαφος. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι δεν παρατηρείται διαφορά στην υδραυλική αγωγιμότητα στον κορεσμό μεταξύ δειγμάτων που αρδεύτηκαν με καθαρό νερό και δειγμάτων που αρδεύτηκαν με ΕΥΑΑ και ελήφθησαν τόσο από καλλιεργούμενη όσο και από ακαλλιέργητη περιοχή αμμοπυλώδους συστάσεως. Αντιθέτως σε παρόμοια σύγκριση δειγμάτων αργιλώδους εδάφους παρατηρήθηκε σημαντική μείωση της υδραυλικής αγωγιμότητας στον κορεσμό (Levy and Assouline 2011).

Από τη στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων διαπιστώθηκε ότι η άρδευση με ΕΥΑΑ είχε επίδραση στην υδραυλική αγωγιμότητα στον κορεσμό η οποία με την επίδραση βροχόπτωσης μειώνεται. Αυτό σημαίνει ότι στον αγρό κατά την περίοδο βροχοπτώσεων που ακολουθεί την αρδευτική περίοδο η βροχόπτωση θα επιδράσει επί του επιφανειακού στρώματος μειώνοντας την υδραυλική αγωγιμότητα. Συνέπεια αυτού θα είναι σε γεγονότα ραγδαίων βροχοπτώσεων να παρατηρείται περίσσεια νερού στην επιφάνεια του εδάφους και απορροή.

Ακολούθως στα ξαναπακεταρισμένα εδάφη για τα οποία θα μπορούσε να ειπωθεί ότι παραπέμπουν σε καλλιεργημένο έδαφος παρατηρήθηκε η αντίστροφη επίδραση, δηλαδή τα δείγματα που προέκυψαν από εδάφη που είχαν αρδευτεί με νερό είχαν μικρότερη υδραυλική αγωγιμότητα στον κορεσμό από ότι τα δείγματα που προέκυψαν από εδάφη που αρδεύτηκαν με ΕΥΑΑ.

Περαιτέρω πρέπει να διερευνηθεί και να διαπιστωθεί ποιοι είναι οι παράγοντες που ευθύνονται για την συμπεριφορά της Ks όπως έχει καταδειχθεί στην προκαταρτική αυτή εργασία.

Ευχαριστίες

Στο ΥΑΑ&Τ καθώς και στην Ν.Α. Λακωνίας για την συγχρηματοδότηση του έργου.

Επίσης στο μέλος του Εργαστηρίου Βελτίωσης Φυτών & Γεωργικού Πειραματισμού Λέκτορα κο Συμιλλίδη Γεράσιμο καθώς στον κο Κατσιλέρο Αναστάσιο ΕΤΕΠ του ιδίου Εργαστηρίου για τη συνδρομή τους, στη στατιστική επεξεργασία των δεδομένων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΚΥΑ 145119/2011 (ΦΕΚ 354 Β΄/8-3-11) «Καθορισμός μέτρων, όρων και διαδικασιών για την επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων και άλλες διατάξεις»

Πανώρας Α , Ηλίας Α. 1999, ;Άρδευση με επεξεργασμένα Υγρά Αστικά Απόβλητα Θεσσαλονίκη, σελ. 57-61

Συμιλλίδης Γ. (2010). Έρευνα – Πειραματισμός, Εγχειρίδιο εφαρμογών στις γεωπονικές και λοιπές βιολογικές επιστήμες. Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Γ.Π.Α. σελ 98 και 107.

Dixon, W.J. (1950). Analysis of extreme values. Ann. Math. Stat. 21, 4, 488-506.

Dixon, W.J. (1951). Ratios involving extreme values. Ann. Math. Stat. 22, 1, 68-78.

Klute A. (2006). Water retention: Laboratory methods in Klute A. (editor) Methods of Soil Analysis Part 1-Physical and Mineralogical Methods, 2nd Ed., SSSA Book Series 5 pp.694-700

Levene, H. (1960). Robust testes for equality of variances. In Contributions to Probability and Statistics (I. Olkin, ed.) 278–292. Stanford Univ. Press, Palo Alto, CA.

Levy G. J., and Assouline S. 2011, Physical aspects in Levy G. J., Fine P., and Bar-Tal A. (editors) Treated Wastewater in Agriculture, Use and impacts on the Soil Environment and Crops, Willey-Blackwell, pp306-322

Levy G. J., Goldstein D., and Mamedov I. A. (2005). Saturated Hydraulic Conductivity of Semiarid Soils: Combined Effects of Salinity, Sodicity, and Rate of Wetting., Soil Science Society of America Journal 69, 653-662

Rorabacher, D.B. (1991). Statistical Treatment for Rejection of Deviant Values: Critical Values of Dixon Q Parameter and Related Subrange Ratios at the 95 percent Confidence Level. Anal. Chem. 83, 2, 139-146.

Shapiro S.S. and Wilk M.B. (1965). An analysis of variance test for normality (complete samples), Biometrika 52 (3-4): 591–611.

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΚΑΜΠΥΛΩΝ ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΑΔΙΑΤΑΡΑΚΤΩΝ ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ ΑΠΟ ΚΥΤΤΑΡΑ ΠΙΕΣΗΣ ΚΑΙ ΜΕ ΠΕΔΟΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙΣ

Γεώργιος Μπουραζάνης[1], Μαργαρίτα Τσανικλίδου[2], Ιωάννης Αργυροκαστρίτης[3] Πέτρος Κερκίδης[4]
[1]Δ/νση Αγροτικής Οικονομίας & Κτηνιατρικής, Περιφερειακή Ενότητα Λακωνίας, Περιφέρεια Πελοποννήσου, 2Ο χλμ. Ε.Ο. Σπάρτης Γυθείου, 23100 Σπάρτη,
[2,3,4]Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Ιερά Οδός 75, 11855 Αθήνα
gbourazanis@windtools.gr, marg.tsaniklidou@hotmail.gr, jarg@aua.gr, kerkides@aua.gr

Στην παρούσα εργασία, γίνεται σύγκριση Χαρακτηριστικών Καμπυλών Υγρασίας (ΧΚΥ) τριών αδιατάρακτων εδαφικών δειγμάτων που προσδιορίστηκαν πειραματικά, με αντίστοιχες, που προέκυψαν από πεδοσυναρτήσεις (PTFs), με χρήση ευκόλως προσδιορίσιμων εδαφικών χαρακτηριστικών. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Soil Water Characteristics from Texture (SWCT). Τα αδιατάρακτα δείγματα ελήφθησαν από τρεις ορίζοντες (5-10, 10-15 και 25-30 cm) ενός σημείου πειραματικού αγρού (ελαιώνα) πέντε στρεμμάτων. Γίνεται σύγκριση των αποτελεσμάτων και ελέγχεται η χρησιμότητά του SWCT ως εργαλείου προσδιορισμού των υδραυλικών ιδιοτήτων, για τα συγκεκριμένα δείγματα. Διαπιστώνεται εν προκειμένω ότι το SWCT υπερεκτιμά την υγρασία καθ' όλο το εύρος του κλάδου αποστράγγισης, έναντι των πειραματικά προσδιορισμένων τιμών για τις ίδιες τιμές πίεσης, ενώ αναδεικνύεται και το γεγονός που έχει αναφερθεί στη βιβλιογραφία ότι οι πεδοσυναρτήσεις χαρακτηρίζονται από τοπική εφαρμοσιμότητα. Η επιλογή του SWCT έγινε διότι πρόκειται για ένα πρόγραμμα δωρεάν διαθέσιμο στο διαδίκτυο, που με πολύ ευκόλως προσδιορίσιμα εργαστηριακά δεδομένα και χωρίς ιδιαίτερες γνώσεις επί του αντικειμένου, φαίνεται να δίνει τα υδραυλικά χαρακτηριστικά του εδάφους, για οποιαδήποτε περαιτέρω χρήση αυτών στις εφαρμογές των αρδεύσεων. Τα χαρακτηριστικά αυτά του SWCT θα μπορούσαν να το κάνουν ιδιαίτερα ελκυστικό για ευρεία χρήση από επιστήμονες του κλάδου που ασχολούνται με εφαρμογές. .

Λέξεις κλειδιά: Χαρακτηριστική καμπύλη υγρασίας, πεδοσυναρτήσεις, Soil Moisture Characteristics from texture

MOISTURE CHARACTERISTIC CURVES COMPARISON OF UNDISTURBED SOIL SAMPLES DETERMINED BY PRESSURE CELLS AND PEDOTRANSFER FUNCTIONS

George Bourazanis[1], Margarita Tsaniklidou[2], Ioannis Argyrokastritis[3], Petros Kerkides[4]
[1] Department of Rural Economy and Veterinary of Regional Government of Laconia, Sparta, Laconia, 23100, Greece
[2,3,4] Laboratory of Agricultural Hydraulics, Department of Natural Resources development and Agricultural Engineering University of Athens, 11855, Athens, Greece
gbourazanis@windtools.gr, marg.tsaniklidou@hotmail.gr, jarg@aua.gr, kerkides@aua.gr

In this paper, Soil Moisture Characteristic Curves (SMCCs) of three undisturbed soil samples determined experimentally are compared with those provided by using pedotransfer functions (PTFs). For this purpose we used Soil Water Characteristics from Texture software (SWCT). The undisturbed samples were taken from three depths (5-10, 10-15 and 25-30 cm) of a specific location of a half an acre experimental field (olive orchard). Comparisons of the test results are made. Furthermore the usefulness of SWCT as a tool for determining the hydraulic properties for these soil samples is discussed. The SWCT seems to overestimate soil moisture throughout the drying curve against experimentally determined values for the same pressure heads. At the same time emerges the fact which has been reported in the literature that PTFs shouldn't be used for extrapolation, The choice of SWCT was because it is freely available, and determines soil hydraulic properties with easily obtainable laboratory soil data. No special knowledge on the subject is needed and at the same time this tool seems to give easily the hydraulic characteristics of the soil, for any further use for irrigation scheduling. These characteristics could make SWCT attractive for use by Agronomists and Agricultural Engineers dealing with irrigation scheduling and applications.

Key words: Soil moisture characteristic curve, pedotransfer functions, Soil Moisture Characteristics from Texture

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η γνώση της χαρακτηριστικής καμπύλης υγρασίας (ΧΚΥ) είναι πολύ σημαντική για τη διαχείριση του αρδευτικού νερού και του εδαφικού πόρου, σε ό,τι έχει να κάνει με φαινόμενα διάβρωσης, συσσώρευσης αλάτων και ερημοποίησης. Ο εργαστηριακός προσδιορισμός της ΧΚΥ είναι χρονοβόρος και απαιτεί ακριβό εργαστηριακό εξοπλισμό, κάτι που δρα αποτρεπτικά (Saxton and Rawls, 2006)

Έχουν γίνει προσπάθειες έμμεσου προσδιορισμού της με διάφορες μεθοδολογίες, όπως

με εμπειρικές εξισώσεις, που σκοπό έχουν τη δυνατότητα χρησιμοποίησης τους, ως βασικών δεδομένων εισόδου (input data) για αριθμητική επεξεργασία και επίλυση προβλημάτων κίνησης του εδαφικού διαλύματος στην ακόρεστη ζώνη. Μία από τις μεθοδολογίες αυτές είναι και οι πεδοσυναρτήσεις (Pedotransfer functions) (PTFs). Οι PTFs προσδιορίζουν είτε στο σύνολό της τη ΧΚΥ, είτε σημαντικά σημεία αυτής (σημείο μάρανσης και υδατοϊκανότητα), με αναλυτικές εξισώσεις που την περιγράφουν, λαμβάνοντας υπ' όψιν παράγοντες του εδάφους που παίζουν ρόλο στη κατανομή, τη μορφή και τη σταθερότητα των πόρων. Τέτοιοι παράγοντες είναι η κοκκομετρική σύσταση, η περιεκτικότητα σε χαλίκια, η αλατότητα, η φαινομενική πυκνότητα, η περιεκτικότητα σε οργανική ουσία κ.λ.π..

Η αξία των PTFs παρά τα αντικρουόμενα αποτελέσματα της εφαρμογής τους αποδεικνύεται από την πλειάδα των επιστημόνων που έχουν ασχοληθεί με τη δημιουργία νέων πεδοσυναρτήσεων με σύγκριση μεθοδολογιών δημιουργίας PTFs αλλά και με σύγκριση της απόδοσης των διαφόρων PTF που έχουν δημιουργηθεί. (Danalatos et al., 1994, Antonopoulos 2000, Antonopoulos 2001, .Μουσουλιώτης κ.α. 2009α Μουσουλιώτης 2009β)

Ένα τέτοιο λογισμικό προσδιορισμού των υδραυλικών ιδιοτήτων των εδαφών από χαρακτηριστικά τα οποία προκύπτουν από εύκολες εργαστηριακές αναλύσεις. είναι το Soil Water Characteristics from Texture (SWCT) (Saxton et al.,1986, Saxton and Rawls , 2006). Το συγκεκριμένο υποπρόγραμμα είναι μέρος ενός λογισμικού προσομοίωσης υδρολογίας το Plant Atmosphere Water Field and Pond Hydrology (SPAW).

Το SWCT χρησιμοποιεί εξισώσεις που έχουν προκύψει από πολυπαραμετρική ανάλυση παλινδρόμησης δεδομένων υδραυλικών αλλά και λοιπών εδαφολογικών χαρακτηριστικών διαθέσιμων στην εδαφολογική βάση του Υπουργείου Γεωργίας της Αμερικής (USDA)

Στην παρούσα εργασία γίνεται σύγκριση ΧΚΥ που προκύπτουν από τη χρήση του συγκεκριμένου λογισμικού με πειραματικά προσδιορισμένες για τρία διαφορετικής κοκκομετρικής σύστασης αδιατάρακτα δείγματα (SCL, L και CL) που ελήφθησαν από τρία διαφορετικά βάθη μίας κατατομής (5-10, 10-15 και 25-30 cm) πειραματικού ελαιώνα πέντε στρεμμάτων..

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1.Υλικά

Για τη λήψη αδιατάρακτων δειγμάτων κατασκευάστηκε δειγματολήπτης και περιέκτες από διάφανο πλαστικό. Ο πλαστικός περιέκτης είχε ύψος 4 cm και διάμετρο 7,1 cm. Για τις διαστάσεις του πλαστικού κυλίνδρου επελέγησαν οι ίδιες με τον πλαστικό δακτύλιο που χρησιμοποιείται στα κύτταρα πίεσης προσδιορισμού της ΧΚΥ,

Εικόνα 13. Ο δειγματολήπτης αδιατάρακτου με τα τμήματά του καθώς και ο πλαστικός περιέκτης με τα χαρακτηριστικά του

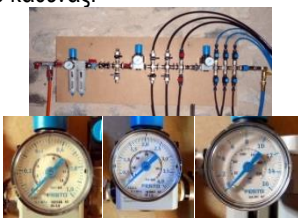
Για τον προσδιορισμό των ΧΚΥ χρησιμοποιήθηκαν κύτταρα πίεσης με κεραμική πλάκα 2.5 bar τα οποία κατασκευάστηκαν στο μηχανουργείο του ΓΠΑ

Εικόνα 14. Κύτταρο πίεσης με τα εξαρτήματά του

Ως πηγές αέρα υπό πίεση χρησιμοποιήθηκε ένας ηλεκτρικός αεροσυμπιεστής με αεροθάλαμο με δυνατότητα διατήρησης πίεσης στις 6 Atm.

Εικόνα 15. Μέσο εφαρμογής πίεσης

Η διάταξη ρύθμισης πίεσης αποτελείτο από ζεύγος υδατοπαγίδας και ελαιοπαγίδας και από τρεις ρυθμιστές ακριβείας διαφορετικού εύρους ρύθμισης ο καθένας.



Εικόνα 16. Γραμμή ρύθμισης πίεσης για τον ηλεκτρικό αεροσυμπιεστή και ρυθμιστές πίεσης

Για τη ζύγιση των κυττάρων, χρησιμοποιήθηκε ζυγός ψηφιακός της εταιρείας Adam μοντέλο ACB-3.000 με ακρίβεια ένα δεκαδικό του γραμμαρίου (0.1 gr) και δυνατότητα ζύγισης μέχρι 3.000 gr.

Εικόνα 17. Διηλεκτρική συσκευή και μετρητής που χρησιμοποιήθηκε

2.2.Διαδικασία προσδιορισμού της ΧΚΥ με τα Κύτταρα πίεσης

Ακολουθήθηκαν τα εξής βήματα:

1. Ζυγίζεται όλο το κύτταρο έχοντας κορέσει την κεραμική πλάκα, γεμίσει με νερό το θάλαμο κάτω από αυτήν καθώς και το σωληνάκι μέσω του οποίου εξέρχεται το νερό. (B_o)

2. Αφαιρείται από το κύτταρο ο πλαστικός δακτύλιος και ζυγίζεται το κύτταρο. (B_{Δ})
3. Τοποθετείται ο πλαστικός δακτύλιο στον δειγματολήπτη αδιαταράκτου (εικόνα 1) και εισάγεται στην κατατομή στο εκείνο το βάθος από όπου είναι επιθυμητή η λήψη του δείγματος.
4. Αφαιρείται ο δειγματολήπτης λύνεται και λαμβάνεται ο πλαστικός δακτύλιος με το εδαφικό αδιατάρακτο δείγμα.
5. Αφήνεται το αδιατάρακτος δείγμα εντός του δακτυλίου να αεροξηρανθεί και γίνεται μέτρηση του όγκου του δείγματος. (V_{Δ})
6. Ζυγίζεται το αεροξηρανθέν δείγμα μαζί με τον πλαστικό δακτύλιο. ($B_{\Delta+E\Delta}$)
7. Προσδιορίζεται το βάρος του ξηρού δείγματος από την αφαίρεση $B_{E\Delta}=B_{\Delta+E\Delta}-B_{\Delta}$
8. Με τις μέχρι τώρα ανεξάρτητες ζυγίζεις είναι γνωστό το βάρος που έχει το κύτταρο πίεσης με το ξηρό δείγμα με κορεσμένη την πλάκα και με γεμάτο με νερό το θάλαμο κάτω από αυτήν καθώς και το σωληνάκι απαγωγής $B_{K\upsilon\tau\Xi\varepsilon\rho}=B_{o}+B_{E\Delta}$
9. Συνδέεται το σωληνάκι απαγωγής με σταθερή στάθμη νερού και κορένεται με αργό ρυθμό το δείγμα (μικρό ύψος στάθμης).
10. Αποσυνδέεται το σωληνάκι απαγωγής και συνδέεται στην κορυφή του κυττάρου ο ταχυσύνδεσμος εφαρμογής πίεσης.
11. Εφαρμόζεται θετική πίεση μικρού βήματος οπότε και αρχίζει στραγγίζοντας το δείγμα να εξέρχεται νερό από το σωληνάκι απαγωγής. Ζυγίζεται καθημερινά το δείγμα $B_{\Delta i}$ μέχρις ότου να σταθεροποιηθεί το μετρούμενο βάρος το οποίο και καταγράφεται μαζί με την πίεση που εφαρμόστηκε (H_i). Υπολογίζεται η υγρασία του δείγματος ως ακολούθως:
$\theta_i = \frac{B_{\Delta i}-B_{K\Upsilon T\ \Xi E P}}{V_{\Delta}}$
12. Επαναλαμβάνεται η πιο πάνω διαδικασία για επόμενη πίεση μέχρι την πίεση αντοχής της πλάκας.

Στο τέλος της διαδικασίας έχει προσδιορισθεί η ΧΚΥ στο σύνολό της (Or and Wraith 2004, Lu, and Lykos, 2002, Klute 2006).

2.3.Προσδιορισμός εδαφικών παραμέτρων

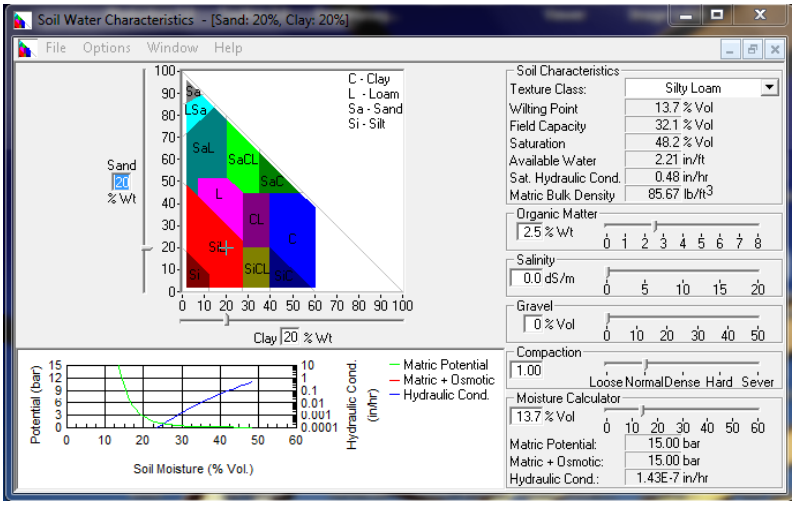
Για την χρήση του SWCT προσδιορίσθηκαν τα ακόλουθα χαρακτηριστικά με τις μεθοδολογίες που αναφέρονται:

Πίνακας 15 Παρουσίαση των αναλύσεων που απαιτούνται ως δεδομένα για τη χρήση του SWCT πρόγραμμα

Ανάλυση	Μέθοδος	Βιβλιογραφία
Κοκκομετρική σύσταση	Μέθοδος Βουγιούκου	Gee and Bauder 2006
Οργανική ουσία	Μέθοδος Walkey-Black	Darrell and Lee 2007

2.3. Soil Water Characteristics from Texture (SWCT)

Για τον υπολογισμό των υδραυλικών χαρακτηριστικών χρησιμοποιήθηκε το SWCT. Το συγκεκριμένο πρόγραμμα αποτελεί τμήμα του Soil Plant Atmosphere Water Field and Pond Hydrology (SPAW) πακέτου το οποίο αναπτύχθηκε από τον K. E. Saxton (Saxton et al.,1986). και είναι διαθέσιμο στην ιστοσελίδα:
http://hydrolab.arsusda.gov/soilwater/Index.htm



Εικόνα 18. Παρουσίαση του βασικού παραθύρου του προγράμματος SWCT όπου φαίνονται δεδομένα και αποτελέσματα

Για τον προσδιορισμό των υδραυλικών ιδιοτήτων απαιτούνται ως δεδομένα η κοκκομετρική σύσταση, το ποσοστό άμμου>2mm, η οργανική ουσία, η αλατότητα και η συμπίεση. Τα αποτελέσματα είναι κατ' αρχήν γραφικά όπου εμφανίζεται η ΧΚΥ η Κ(θ) καθώς και η ΧΚΥ συμπεριλαμβάνοντας και την οσμωτική πίεση που ασκούν τα άλατα. Πέραν αυτών δίδονται και διακεκριμένες τιμές υδραυλικών ιδιοτήτων όπως η υδατοϊκανότητα, η υγρασία μαράνσεως, η υγρασία κορεσμού, η διαθέσιμη υγρασία, η υδραυλική αγωγιμότητα στον κορεσμό. Επίσης στο πεδίο Moisture Calculator δίνεται η δυνατότητα να εισάγονται τιμές υγρασίας και να υπολογίζονται τιμές φορτίου πίεσης συμπεριλαμβανομένης και της οσμωτικής όπως και τιμές υδραυλικής αγωγιμότητας.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

3.1. Αναλύσεις εδαφικών δειγμάτων

Στον πίνακα που ακολουθεί εμφανίζονται οι τιμές των παραμέτρων που απαιτούνται ως δεδομένα του προγράμματος:

Πίνακας 16 Αποτελέσματα αναλύσεων

α/α	% Sand	% SILT	% Clay	D>2mm (% κ.β.)	ΟΡΓ.ΟΥΣ. %	d (gr/cm^3)
Α	35.4	38	26.6	5.72	1.541	1.46
Β	48	25.4	26.6	5.59	1.7755	1.57
Γ	39.7	31.7	28.6	9.08	1.2395	1.55

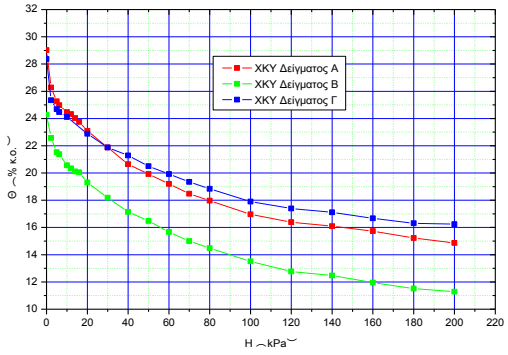
Τα τρία αδιατάρακτα εδαφικά δείγματα ελήφθησαν από τρία διαφορετικά βάθη μίας κατατομής. Συγκεκριμένα το Α από βάθος 5-10 cm, το Β από βάθος 10-15 cm και το Γ από βάθος 25-30 cm.

3.2. Προσδιορισμός ΧΚΥ Εδαφικών Δειγμάτων με τα Κύτταρα πίεσης

Με τα κύτταρα πίεσης προσδιορίσθηκαν οι οριακοί κλάδοι αποστράγγισης τριών δειγμάτων Α, Β και Γ με τη μεθοδολογία που αναπτύχθηκε προηγουμένως και παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα.

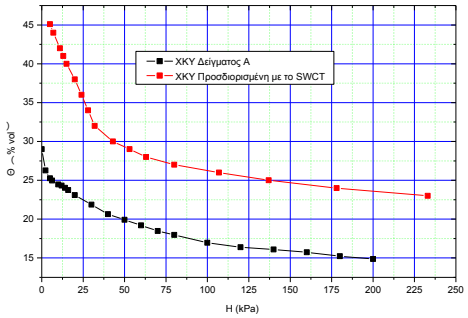
Πίνακας 17 Πειραματικές τιμές πίεσης-υγρασίας για τα τρία δείγματα

Δείγμα Α		Δείγμα Β		Δείγμα Γ	
Η kPa	Θ %	Η kPa	Θ %	Η (kPa)	Θ(%)
0	29.02	0	24.28	0	28.37
2.25	26.27	2.25	22.57	2.25	25.33
5	25.26	5	21.53	5	24.69
6.25	24.97	6.25	21.38	6.25	24.47
10	24.47	10	20.56	10	24.11
12	24.32	12	20.34	20	22.88
14	24.04	14	20.12	30	21.87
16	23.75	16	20.05	40	21.29
20	23.10	20	19.30	50	20.50
30	21.87	30	18.19	60	19.92
40	20.64	40	17.15	70	19.34
50	19.92	50	16.48		
60	19.20	60	15.66		
70	18.48	70	15.00		
80	17.97	80	14.48		
100	16.96	100	13.51		
120	16.38	120	12.77		
140	16.10	140	12.47		
160	15.74	160	11.95		
180	15.23	180	11.51		
200	14.87	200	11.28		

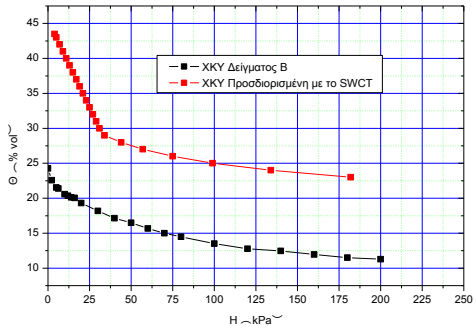


Διάγραμμα 9 ΧΚΥ τριών δειγμάτων όπως προσδιορίσθηκαν με τη χρήση των Κυττάρων πίεσης

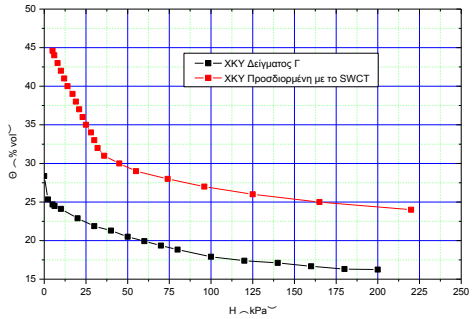
Επίσης με τη χρήση των δεδομένων του πίνακα 2 και του λογισμικού SWCT εξήχθησαν οι ΧΚΥ των τριών δειγμάτων . Ακολούθως εμφανίζεται σχηματικά η σύγκριση ανά δείγμα των δύο ΧΚΥ (πειραματική και υπολογισμένη από το SWCT).



Διάγραμμα 10 ΧΚΥ για το δείγμα Α πειραματική και υπολογισμένη με το SWCT



Διάγραμμα 11 ΧΚΥ για το δείγμα Β πειραματική και υπολογισμένη με το SWCT



Διάγραμμα 12 ΧΚΥ για το δείγμα Γ πειραματική και υπολογισμένη με το SWCT

4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τα διαγράμματα 1, 2 και 3 παρατηρούμε υπερεκτίμηση των τιμών υγρασίας που υπολογίσθηκαν με τη χρήση του SWCT έναντι των πειραματικών και για τα τρία δείγματα.

Οι Gijsman et al., 2002 ανέφεραν ότι από οκτώ μεθόδους εκτίμησης που χρησιμοποίησαν σε γεωργικές και υδρολογικές εφαρμογές η μεθοδολογία του Saxton (Saxton et al.,1986) έδωσε την καλύτερη προσαρμογή σε ομάδα πειραματικών δεδομένων κάτι που δεν συνάδει με τα δικά μας αποτελέσματα.

Οι Williams, et al.,1992 αναφέρουν ότι από όλες τις κατηγορίες των PTFs εκείνες που δημιουργήθηκαν με ανάλυση παλινδρόμησης όπως το SWCT έδωσαν τα χειρότερα αποτελέσματα, ενώ βελτιώθηκαν σημαντικά όταν υπήρχαν διαθέσιμα και συμπεριλαμβάνονταν στους υπολογισμούς ζεύγη τιμών της ΧΚΥ.

Από την άλλη το SWCT δημιουργήθηκε από δεδομένα της εδαφολογικής βάσης του Υπουργείου Γεωργίας της Αμερικής και εμείς το δοκιμάσαμε σε

εδάφη εκτός αυτών των εδαφικών περιοχών. Οι Gijsman et al., (2002), Wosten, et al.,(2001) ο O Givi et al., (2004) και οι Μουσουλιώτης κ.α. (2009) αναφέρουν ότι οι αποκλίσεις που παρατηρούνται οφείλονται σε διαφορές που υπάρχουν μεταξύ των δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν για να δημιουργηθούν οι PTFs έναντι αυτών που εμείς δοκιμάζουμε. Οι διαφορές είναι χωρικού χαρακτήρα και έχουν να κάνουν με το από ποια περιοχή προήλθαν τα δείγματα με τα οποία δημιουργήθηκε και αξιολογήθηκε μία PTF, και από ποια περιοχή είναι τα δείγματα για τα οποία θέλουμε να προβλέψουμε τις υδραυλικές τους ιδιότητες. Αλλιώς οι πεδοσυναρτήσεις χαρακτηρίζονται από τοπική ισχύ και η χρήση του δεν πρέπει να γίνεται άκριτα. (Wosten, et al., 2001, Μουσουλιώτης κ.α. 2009).

Η αξία των PTFs είναι αδιαμφισβήτητη για εφαρμογές μεγάλης κλίμακας όπου σε περιφερειακό ή εθνικό επίπεδο άλλοι παράγοντες που εμπλέκονται και εμφανίζουν χωρική παραλλακτικότητα θα έχουν μεγαλύτερη επίδραση από ότι αυτή των υδραυλικών ιδιοτήτων στα αποτελέσματα (Gijsman et al., 2002).

Αντιθέτως, θα πρέπει να αποφεύγεται η χρήση τους για τον προσδιορισμό των υδραυλικών χαρακτηριστικών συγκεκριμένου σημείου, διότι αυτό ενέχει πολλούς κινδύνους λαθών, με επίδραση σε ακόλουθους υπολογισμούς που έχουν να κάνουν με την κίνηση αλάτων διάβρωση κ.λ.π. (Wosten, et al., 2001)

Εκτιμούμε ότι οι PTFs μπορούν να αποτελέσουν εργαλείο με ικανοποιητική προσέγγιση και θεωρούμε ότι είναι σκόπιμο αναπτυχθούν νέες βελτιωμένες πεδοσυναρτήσεις και για τα Ελληνικά εδάφη (Μουσουλιώτης κ.α. 2009). Εδώ πρέπει να σημειωθεί ότι μία τέτοια προσπάθεια έχει γίνει από τους Danalatos et al., (1994) όπου ελήφθησαν εις τριπλούν αδιατάρακτα δείγματα από 105 ορίζοντες 34 εδαφών. Τα δείγματα αυτά χρησιμοποιήθηκαν σε προταθείσα πεδοσυνάρτηση η οποία προήλθε από απλοποίηση της PTF που έχει προταθεί από τους Driessen (1986) και Driessen and Konijn (1992).

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Μουσουλιώτης Χ., Γεωργούσης Χ., Μπαμπατζιμόπουλος Χ., Πανώρας Ε., Χατζηγιαννάκης Ε. και Αραμπατζης Γ., 2009α, Χρήση περδοσυναρτήσεων για την περιγραφή υδραυλικών ιδιοτήτων εδαφών της πεδιάδας Θεσσαλονίκης Ι. Αξιολόγηση πεδοσυναρτήσεων της Βιβλιογραφίας Κοινό Συνέδριο Ελληνικής Υδροτεχνικής Ένωσης (ΕΥΕ) και Ελληνικής Επιτροπής Διαχείρισης Υδατικών πόρων (ΕΕΔΥΠ), Τόμος Ι, 363-369

Μουσουλιώτης Χ., Γεωργούσης Χ., Μπαμπατζιμόπουλος Χ., Πανώρας Ε., Χατζηγιαννάκης Ε. και Αραμπατζης Γ., 2009β, Χρήση περδοσυναρτήσεων για την περιγραφή υδραυλικών ιδιοτήτων εδαφών της πεδιάδας Θεσσαλονίκης ΙΙ Ανάπτυξη πεδοσυναρτήσεων ιολόγηση πεδοσυναρτήσεων της Βιβλιογραφίας Κοινό Συνέδριο Ελληνικής Υδροτεχνικής Ένωσης (ΕΥΕ) και Ελληνικής Επιτροπής Διαχείρισης Υδατικών πόρων (ΕΕΔΥΠ), Τόμος Ι, 379-386

Antonopoulos Z. Vassilis, 2000 Modelling of soil water dynamics in an irrigated corn field using direct and pedotransfer functions for hydraulic properties *Irrigation and Drainage Systems* **14:** 325–342, 2000

Antonopoulos Z. Vassilis, 2001, Simulation of water and nitrogen balances of irrigated and fertilized corn-crop soil, Journal Irrigation Drainage Engineering 127:77-83

Danalatos N.G., Kosmas C.S., Driessen P.M., Yassoglou N., 1994, Estimation of the draining soil moisture characteristic from standard data as recorded in routine soil surveys, Geoderma Volume 64, Issues 1–2, pp. 155–165

Darrell W. Nelson and Lee E. Sommers, 2007. Total Carbon, Organic Carbon and Organic Matter Water retention, Laboratory methods, in Sparks L.D. (editor) Methods of Soil Analysis Part 3-Chemical methods, SSSA Book Series 5 pp.995-996

Driessen, P M and Konijn, N T, 1992 Land-Use Systems Analysis INRES, Agric Univ of Wagenlngen, pp.230

Driessen, P M, 1986 The water balance of the soil In H van Keulen and J Wolf (Editors), Modeling of Agricultural Production Weather, Soils and Crops Pudoc, Wageningen, pp 76-116

Gee W. G. and Bauder W. J. 2006 Hydrometer method in

Gijsman, A.J., S.S. Jagtap, and J.W. Jones. 2002. Wading through a swamp of complete confusion: How to choose a method for estimating soil water retention parameters for crop models. Eur. J.Agron. 18:75–105.

Givi J., Prasher S.O., Patel R.M. (2004) Evaluation of pedotransfer functions in predicting the soil water contents at field capacity and wilting point Agricultural Water Management 70 83–96

Klute A 2006. Water retention, Laboratory methods, in Klute A. (editor) Methods of Soil Analysis Part 1-Physical and Mineralogical Methods, 2nd Ed., SSSA Book Series 5 pp.635-656

Lu. N. and Likos W. J., 2002, Unsaturated Soil mechanics, John Wiley & Sons INC, pp. 417-459

Or D. and Wraith J. M. 2004 Soil water content and water potential relationships in Warrick W. A. (editor) 2004, Soil Physics Companion, CRC Press, pp 49-82

Saxton E. K. and Rawls J. W., 2006, Soil Water Characteristic Estimates by Texture and Organic Matter for Hydrologic Solutions, Soil Sci. Soc. Am. J. 70:1569–1578

Saxton, K.E., Rawls, W.J., Romberger, J.S., Papendick, R.I., 1986. Estimating generalized soil–water characteristics from texture., Soil Sci. Soc. Am. J. 50, 1031-1036

Williams, R D, Ahuja, L R and Naney, J W, 1992 Comparison of Methods to Estimate Soil Water Characteristics From Soil Texture, Bulk Density, and Limited Data Soil Sc 153(3) 172-184

Wosten, J.H.M., Pachepsky, Ya.A., Rawls, W.J., 2001. Pedotransfer functions: bridging the gap between available basic soil data and missing soil hydraulic characteristics. J. Hydrol. 251, 123–150.

ΔΙΕΥΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ - ΠΑΡΟΧΗΣ ΣΕ ΑΡΔΕΥΤΙΚΑ ΚΑΝΑΛΙΑ ΜΕ ΣΥΣΚΕΥΗ ΥΠΕΡΗΧΩΝ

Ανδρέας Ηλίας[1], Ηλίας Τελόγλου[2], Ευάγγελος Χατζηγιαννάκης[1], Ιωάννης Πανώρας[1], Παναγιώτα Γαλιατσάτου[3], Αθανάσιος Πανώρας[1]

[1]Ινστιτούτο Εγγείων Βελτιώσεων, Ελληνικός Γεωργικός Οργανισμός "Δήμητρα", 57400 Σίνδος
[2]Τμήμα Φυτικής Παραγωγής, Αλεξάνδρειο Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Θεσσαλονίκης, 57400 Σίνδος
[3]Τομέας Υδραυλικής και Τεχνικής Περιβάλλοντος, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, ΑΠΘ, 54124 Θεσσαλονίκη

Η χρήση οργάνων που στηρίζονται στις αρχές της ακουστικής και χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση της ταχύτητας ροής του νερού μέσα σε αγωγούς, αν και διατίθενται αρκετά χρόνια στο εμπόριο, έχει τύχει μικρής εφαρμογής στην πράξη. Οι συσκευές αυτές εκπέμπουν ηχητικά κύματα στο φάσμα των υπερήχων και λαμβάνουν ανακλάσεις σε διαφορετικές συχνότητες λόγω του φαινομένου Doppler. Χαρακτηριστικό γνώρισμα αυτών των συσκευών είναι η δυνατότητα αυτοματοποιημένης συνεχούς μέτρησης και καταγραφής ταχυτήτων και παροχής. Πραγματοποιήθηκαν εκτεταμένες δοκιμές μετρήσεων και καταγραφής της "σημειακής" (τοπικής) ταχύτητας ροής με τη συσκευή υπερήχων-Doppler Starflow–Model 6526 του Αυστραλιανού οίκου Unidata. Αρχικά έγιναν δοκιμές σε εργαστηριακό κανάλι, σε δεύτερη φάση πραγματοποιήθηκαν δοκιμές για περιορισμένο χρόνο σε τριτεύουσες και δευτερεύουσες διώρυγες και τελικά η συσκευή τοποθετήθηκε σε δευτερεύουσα διώρυγα του δικτύου βαρύτητας στην περιοχή ευθύνης του ΤΟΕΒ Αγίου Αθανασίου, με στόχο τη διερεύνηση της αξιοπιστίας των μετρήσεων ταχύτητας ροής και παροχής κατά τη διάρκεια της αρδευτικής περιόδου. Σε όλη τη διάρκεια των δοκιμών, ταυτόχρονα με τη λειτουργία της συσκευής υπερήχων πραγματοποιήθηκαν επανειλημμένες μετρήσεις της ταχύτητας ροής με μυλίσκο προκειμένου να χρησιμοποιηθούν ως μέτρο σύγκρισης. Στη διάρκεια των δοκιμών εξετάστηκαν εναλλακτικά σενάρια τοποθέτησης και διάφορα σετ ρύθμισης των παραμέτρων της συσκευής με στόχο τη βελτιστοποίηση λειτουργίας και τη λήψη σταθερών και αξιόπιστων μετρήσεων.

Λέξεις κλειδιά: ταχύτητα ροής, μετρητές ροής, υπέρηχοι, Doppler

INVESTIGATION OF THE ACCURACY OF ACOUSTIC DOPPLER VELOCITY AND FLOW MEASUREMENTS IN OPEN CHANNELS

Andreas Ilias[1], Ilias Teloglou[2], Evaggelos Hatzigiannakis[1], Ioannis Panoras[1], Panagiota Galiatsatou[3], Athanasios Panoras[1]

[1]Land Reclamation Institute, Hellenic Agricultural Organization "Demetra", 57400 Sindos,
e-mail: Andreas Ilias: anilias.LRI@nagref.gr, Evaggelos Hatzigiannakis: hatzigiannakis.LRI@nagref.gr, Ioannis Panoras: y.panoras@gmail.com, Athanasios Panoras: panoras.lri@nagref.gr
[2]Department of Crop Production, Alexander Technological Educational Institute of Thessaloniki, 57400 Sindos,
e-mail: itelo@cp.teithe.gr
[3] Division of Hydraulics and Environmental Engineering, Department of Civil Engineering, AUTH, 54124 Thessaloniki
e-mail: pgaliats@civil.auth.gr

Acoustic Doppler devices are used for the estimation of water velocity for several years now; nevertheless there is little experience in situ measurements. These devices utilize the acoustic signals frequency shift, due to the Doppler effect, to measure water velocity (ADVM). One of the main advantages of such instruments is their ability to measure continuously and log the measurements so they may be utilized for the rational management of water resources and the operation surveillance of open-channel irrigation networks. The acoustic Doppler velocity meter "Starflow-Model 6526" of the Australian firm "Unidata" was tested in both a laboratory channel and in the open-channel irrigation network of Agios Athanasios, at Thessaloniki plain, in northern Greece. The ultimate target of this study was to investigate the accuracy of velocity and discharge measurements throughout an irrigation season, at a secondary channel of the irrigation network. To optimize the instrument operation for obtaining stable and reliable measurements a series of alternative scenarios related to adjusting various parameter sets and mounting of the device was examined. During both the lab and the irrigation channel measurements made with the ADVM device, several measurements with a typical propeller current meter were carried out, in order to check the accuracy of the acoustic device.

Key words: water velocity meters, current meters, acoustic Doppler

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η μέτρηση της παροχής σε ανοικτούς αγωγούς (κανάλια ή διώρυγες) είναι ένα θέμα που έχει απασχολήσει όλους όσους σχετίζονται με το αντικείμενο των εγγείων βελτιώσεων και ιδιαίτερα αυτούς που ασχολούνται με τη διαχείριση και τη διανομή του νερού σε δίκτυα βαρύτητας. Η κλασική μέθοδος μέτρησης της ταχύτητας ροής με χρήση μυλίσκου και ο υπολογισμός της παροχής, είναι ακριβής αλλά απαιτεί εξειδικευμένο προσωπικό, ύπαρξη κατάλληλης θέσης μέτρησης, είναι χρονοβόρα, ενώ η μέτρηση είναι στιγμιαία.

Η χρήση οργάνων που στηρίζονται στις αρχές της ακουστικής για τη μέτρηση της ταχύτητας ροής και της παροχής του νερού, αν και τα όργανα αυτά υπάρχουν αρκετά χρόνια στο εμπόριο, έχει τύχει μικρής εφαρμογής στην πράξη. Οι συσκευές αυτές εκπέμπουν ηχητικά κύματα στο φάσμα των υπερήχων και λαμβάνουν ανακλάσεις σε διαφορετικές συχνότητες λόγω του φαινομένου Doppler, τις οποίες επεξεργάζονται στο πεδίο του χρόνου και των συχνοτήτων (συσκευές υπερήχων-Doppler). Χαρακτηριστικό γνώρισμα αυτών των συσκευών είναι η δυνατότητα αυτοματοποιημένης συνεχούς μέτρησης και καταγραφής των ταχυτήτων, σε αντίθεση με την κλασική μέθοδο του μυλίσκου που δίνει στιγμιαίες μετρήσεις και η δυνατότητα μέτρησης γρήγορα μεταβαλλόμενων (Ruhl and Simpson, 2005; Simpson and Oltmann, 1993) ή πολύ μικρών παροχών (Merz, 2010). Οι συσκευές υπερήχων - Doppler χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες (Censor and Newhouse, 1988):

- Τις συσκευές που μετρούν σημειακή (τοπική) ταχύτητα ροής (Acoustic Doppler Velocity Meters, ADVM) και χρησιμοποιούνται κατά κανόνα σε αρδευτικά και στραγγιστικά κανάλια ή μικρά υδατορεύματα, και
- Τις συσκευές που καταγράφουν κατανομή (προφίλ) ταχυτήτων ροής (Acoustic Doppler Current Profilers, ADCP), οι οποίες είναι πολύπλοκες, υψηλού κόστους και χρησιμοποιούνται για την μέτρηση παροχής σε μεγάλα υδατορεύματα (Vougioukas et al., 2011).

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

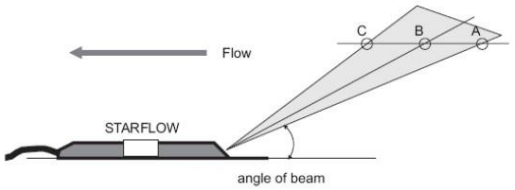
2.1. Η συσκευή

Η συσκευή Starflow-Model 6526 που χρησιμοποιήθηκε (Unidata Starflow Manual, 2011), μετρά την τοπική ταχύτητα και το βάθος ροής και υπολογίζει την παροχή όταν έχουν εισαχθεί τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της διατομής του αγωγού. Η συσκευή προορίζεται για μετρήσεις ταχύτητας ροής, βάθους και παροχής σε μικρά ρέματα και αρδευτικά κανάλια και συνοδεύεται από τον επεξεργαστή "Micrologger Model 6526".

Τα βασικά χαρακτηριστικά της συσκευής είναι τα εξής:

- Δυνατότητα μέτρησης ταχύτητας ροής με χρήση τεχνικής υπερήχων-Doppler (Y-D)
- Ενσωματωμένος επεξεργαστής και καταγραφέας (logger) σε μονάδα στερεής κατάστασης (solid-state unit)
- Μέτρηση βάθους ροής με πιεζομετρικό αισθητήρα
- Μέτρηση θερμοκρασίας νερού για διόρθωση ταχύτητας
- Σειριακή θύρα επικοινωνίας για ρύθμιση της συσκευής και λήψη καταγραφών
- Δυνατότητα παρακολούθησης μετρήσεων σε πραγματικό χρόνο
- Τροφοδοσία από μπαταρία, ηλιακό συλλέκτη ή ρεύμα
- Δυνατότητα μέτρησης σε μη στρωτές ροές, καθώς και σε ανάστροφες ροές

Η πραγματική μέτρηση (raw) του αισθητήρα της συσκευής αφορά στη μεταβολή της συχνότητας (Doppler shift) του ηχητικού σήματος που ανακλάται στα κινούμενα σωματίδια ή στις φυσαλίδες που βρίσκονται μέσα στο νερό, και μεταφράζεται σε ταχύτητα ροής με επεξεργασία του σήματος. Καθώς οι αισθητήρες της συσκευής είναι υπό-γωνία με τη ροή, υπολογίζεται η συνιστώσα της ταχύτητας κατά τη διεύθυνση της ροής (Εικόνα 1).



Εικόνα 1. Μέτρηση ταχύτητας ροής από τη συσκευή Starflow

2.2. Δείκτης ταχύτητας και μέση ταχύτητα ροής

Η συσκευή Starflow, όπως και κάθε άλλη συσκευή ADVM, λαμβάνει ανακλάσεις σημάτων από τα αιωρούμενα σωματίδια που βρίσκονται σε ένα τμήμα της υγρής διατομής του υδατορεύματος, ή για την ακρίβεια σε έναν (κατά προσέγγιση κωνικό) όγκο νερού που βρίσκεται μπροστά και επάνω από τη συσκευή (Εικόνα 1). Για το λόγο αυτό η μετρούμενη ταχύτητα αναφέρεται συνήθως ως δείκτης ταχύτητας (index velocity) (Huang, 2004), σε αντιδιαστολή με την σημειακή ταχύτητα που μετριέται με τον κλασικό μυλίσκο (με προπέλα ή ηλεκτρομαγνητικό).

Το μέγεθος του όγκου που συμμετέχει στη μέτρηση εξαρτάται από την ισχύ του ηχητικού σήματος και την καθαρότητα του νερού. Όσο πιο μεγάλος είναι αυτός ο όγκος και όσο πιο αντιπροσωπευτική η ταχύτητα του νερού εντός αυτού του όγκου σε σχέση με τη μέση ταχύτητα νερού στη διατομή μέτρησης, τόσο πιο κοντά στην πραγματική μέση ταχύτητα του υδατορεύματος θα είναι η μετρούμενη ταχύτητα. Η αντιπροσωπευτικότητα της μέσης ταχύτητας του μετρούμενου όγκου σε σχέση με την μέση ταχύτητα κίνησης του νερού στο κανάλι εξαρτάται από παράγοντες όπως τα χαρακτηριστικά της ροής, η τραχύτητα του πυθμένα και των πρανών, και το μέγεθος και το σχήμα του καναλιού.

Σε μικρά κανάλια, η ταχύτητα που μετριέται από τη συσκευή Starflow μπορεί να βρίσκεται πολύ κοντά ή να ταυτίζεται με την πραγματική μέση ταχύτητα του νερού, καθώς η ηχητική δέσμη "βλέπει" σημαντικό τμήμα της διατομής του ρέοντος νερού. Σε περιπτώσεις όπου η ροή εντός των καναλιών είναι

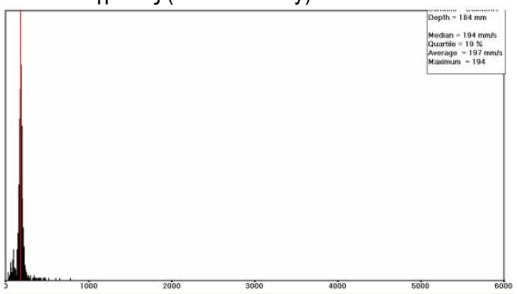
στρωτή, η ταχύτητα που μετράει η συσκευή αναμένεται σε γενικές γραμμές να βρίσκεται σε ένα εύρος γύρω από την πραγματική μέση ταχύτητα της υγρής διατομής.

Σε μεγαλύτερα κανάλια η δέσμη ηχητικών σημάτων "βλέπει" μικρό μέρος της υγρής διατομής. Γενικά, σε ροές με σημαντικά βάθη ή σε ροές με μικρότερα βάθη αλλά σχετικά ακάθαρτα νερά (στα οποία τα ηχητικά σήματα αποσβένονται σε μικρές αποστάσεις από την πηγή), ή σε κανάλια με τραχείς πυθμένες, οι μετρούμενες ταχύτητες πρέπει να διορθώνονται ώστε να αντανακλούν τη μέση ταχύτητα της υγρής διατομής. Η διαδικασία που ακολουθείται είναι η μέτρηση της μέσης ταχύτητας ροής με μυλίσκο και η συσχέτισή της με τη μετρούμενη με τη συσκευή ADVM.

2.3. Ρύμθιση της συσκευής ADVM

Η κατανόηση των αρχών της υδραυλικής σε συνδυασμό με τις αρχές λειτουργίας και τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της χρησιμοποιούμενης συσκευής είναι στοιχεία απαραίτητα για την αποτελεσματική παραμετροποίησή της. Είναι προφανές ότι οι παράμετροι που πρέπει να ρυθμιστούν αλληλοεξαρτώνται και για το λόγο αυτό αντιμετωπίζονται ως σύνολο ή ως "σχήμα" (scheme). Οι βασικές παράμετροι ρύθμισης της συσκευής είναι οι εξής:

- Ρυθμός σάρωσης (scan rate): Καθορίζει τη συχνότητα σάρωσης για κάθε μέτρηση. Μεγάλος ρυθμός σάρωσης αυξάνει την πιθανότητα καταγραφής "αποδεκτών" μετρήσεων. Υπάρχει περιορισμός στη σχέση μεταξύ του διαστήματος καταγραφής (logging interval) και της συχνότητας σάρωσης.
- Βήμα καταγραφής (log interval). Το διάστημα στο οποίο υπολογίζεται η μέση ταχύτητα (index velocity) από τις στιγμιαίες μετρήσεις.
- Ελάχιστο βάθος μέτρησης. Καθορίζεται από τα χαρακτηριστικά της συσκευής.
- Μέγιστο τεταρτημόριο. Ως τεταρτημόριο (quartile) ορίζεται ο λόγος του εύρους της κατανομής των στιγμιαίων ταχυτήτων στο διάστημα μέτρησης της ταχύτητας, προς το ύψος της κορυφής της κατανομής (peak value). Αποτελεί ένα δείκτη της ποιότητας μέτρησης. Υψηλές τιμές (μεγαλύτερες του 100%) υποδηλώνουν μεγάλη διασπορά στις στιγμιαίες ταχύτητες (Εικόνα 2).
- Ελάχιστος αριθμός αποδεκτών στιγμιαίων ταχυτήτων, ώστε να υπολογιστεί η μέση ταχύτητα του δείγματος (index velocity).



Εικόνα 2. Ιστόγραμμα ταχυτήτων με τιμή τεταρτημορίου (quartile) 19%.

- Μέγιστος αριθμός αποδεκτών μετρήσεων προς ανάλυση. Γενικά ένας αριθμός της τάξης των 200 μετρήσεων είναι αρκετός. Για συνθήκες με προβληματικές ροές, ο αριθμός αυτός μπορεί να πρέπει να αυξηθεί πχ έως το 500.
- Επιλογή των παραμέτρων που θα καταγράφονται (logging). Ιδιαίτερα στην περίοδο ελέγχου και ρύθμισης της συσκευής μπορεί να καταγράφονται παράμετροι όπως η συχνότητα του σήματος, οι ελάχιστες, μέγιστες, μέσες και αθροιστικές τιμές όλων των παραμέτρων στο διάστημα ολοκλήρωσης (log interval), ο υπολογισμός και η καταγραφή της παροχής, η τάση, κλπ.
- Υπάρχει δυνατότητα ρύθμισης γραμμικής ή κυκλικής καταγραφής.
- Ενεργοποίηση συμβάντος (event logging), όπως καταγραφή δεδομένων, αποστολή SMS και ενεργοποίησης μικροδιακοπτών (relay control).

3. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ – ΔΟΚΙΜΕΣ - ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

3.1. Τοποθέτηση της συσκευής

Η συσκευή ADVM τοποθετήθηκε σε δευτερεύουσα τραπεζοειδή διώρυγα του αρδευτικού δικτύου στην περιοχή ευθύνης του Τ.Ο.Ε.Β. Αγίου Αθανασίου. Το νερό της διώρυγας μετέφερε υδροχαρή βλάστηση και άλλα φερτά υλικά σε διαφορετικά φορτία κατά τη διάρκεια της αρδευτικής περιόδου.

Η συσκευή είναι κατασκευασμένη με προδιαγραφή τη μόνιμη τοποθέτησή της στον πυθμένα του καναλιού. Ωστόσο η μόνιμη τοποθέτηση δημιουργεί δύο σημαντικά προβλήματα: α) Η συσκευή πρέπει να τοποθετηθεί πριν την πλήρωση του δικτύου και να απεγκατασταθεί μετά τη διακοπή παροχέτευσης νερού στα κανάλια και β) Είναι πρακτικά αδύνατο να υπάρχει έλεγχος της συσκευής όταν είναι τοποθετημένη μόνιμα στον πυθμένα του καναλιού. Όπως φάνηκε από την πιλοτική χρήση της συσκευής σε κάθε περίπτωση είναι απαραίτητο να υπάρχει δυνατότητα οπτικού ελέγχου, ανάσυρσης και καθαρισμού της συσκευής. Για το λόγο αυτό η τοποθέτηση έγινε σε αυτοσχέδια βάση (Εικόνα 3)

Εικόνα 3. Ιδιοκατασκευή - βάση τοποθέτησης συσκευής ADVM.

Η προτεινόμενη τοποθέτηση της συσκευής Starflow για τη μέτρηση της ταχύτητας ροής σε ανοικτούς

αγωγούς είναι τέτοια ώστε οι πομποδέκτες ηχητικών σημάτων να βλέπουν προς τα ανάντη της ροής. Σε αυτή την τοποθέτηση έχει γίνει η εργοστασιακή βαθμονόμηση (calibration) της συσκευής. Για την αποφυγή συσσώρευσης φερτών υλικών επάνω στην επιφάνεια του αισθητήρα, δοκιμάστηκε επιπλέον η τοποθέτηση της συσκευής με φορά προς τα κατάντη της ροής. Στην περίπτωση αυτή οι ταχύτητες που καταγράφονται είναι αρνητικές, ενώ (κατά τον κατασκευαστή) υπάρχει και μικρή απόκλιση από τη βαθμονόμηση της συσκευής.

Στις δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν έχοντας τους αισθητήρες της συσκευής στραμμένους προς τα κατάντη της ροής, οι μετρήσεις που πάρθηκαν ήταν αντίστοιχες της κανονικής τοποθέτησης. Το πρόβλημα ωστόσο στην περίπτωση αυτής της τοποθέτησης, είναι ότι καθώς οι ράβδοι στήριξης και το σώμα της συσκευής βρίσκονται ανάντη των αισθητήρων, τα φερτά υλικά που συσσωρεύονται στις ράβδους και στο σώμα της συσκευής, αλλά και η ίδια η συσκευή, επηρεάζουν σημαντικά τη ροή στην περιοχή της μέτρησης. Για το λόγο αυτό δεν μελετήθηκε περισσότερο η συγκεκριμένη διάταξη.

Στις περιπτώσεις κατά τις οποίες έγινε προσπάθεια μέτρησης και καταγραφής της ταχύτητας ροής για παρατεταμένα διαστήματα (αρκετών ημερών ή/και εβδομάδων), παρατηρήθηκαν προβλήματα από τη συσσώρευση φερτών υλικών (φύκια, φύλλα, κλαδιά, στελέχη καλλιεργειών, σχοινιά, πλαστικά κλπ) επάνω στη συσκευή και στους βραχίονες στήριξης. Στην προσπάθεια να αντιμετωπιστούν τα προβλήματα, έγιναν διάφορες τροποποιήσεις και δοκιμές τόσο στον τρόπο τοποθέτησης της συσκευής όσο και βελτίωση της βάσης τοποθέτησης.

Κατά το θέρος, εξαιτίας των υψηλών θερμοκρασιών και της ηλιακής ακτινοβολίας, αναπτύσσεται στα κανάλια υδροχαρής βλάστηση. Τα φυτά αυτά έχουν μακριά ινώδη υφή και επικάθονται σε στρώματα πάνω στη συσκευή. Επιπλέον η ιλύς σε συνδυασμό με τα διάφορα είδη μικροοργανισμών που υπάρχουν στο νερό δημιουργούν επάνω στη συσκευή στρώσεις υλικών (πουρί) που παρεμποδίζουν τις μετρήσεις. Τα προβλήματα αυτής της μορφής είναι τόσο πιο έντονα όσο μεγαλύτερα είναι τα διαστήματα με χαμηλές ταχύτητες ροής.

Για την αντιμετώπιση των εσφαλμένων μετρήσεων, δοκιμάστηκαν διάφορα σετ παραμέτρων, ενώ κατά τη θερινή περίοδο του 2012 πραγματοποιήθηκε και αναβάθμιση του λογισμικού μετά από συνεργασία με την κατασκευάστρια εταιρεία.

Σημειώνεται ότι η όποια κατασκευή για την προστασία της συσκευής από την υδροχαρή βλάστηση και τα άλλα φερτά υλικά, αλλά και η κατασκευή που θα επιτρέπει την τοποθέτηση και ανάσυρση της συσκευής για έλεγχο και καθαρισμό, πρέπει: α) να προφυλάσσει τη συσκευή από τα φερτά υλικά, β) να μην παρεμποδίζει τη λειτουργία της συσκευής και γ) να μην επηρεάζει σημαντικά τα χαρακτηριστικά της ροής (Εικόνα 4).

3.2 Αρχικές μετρήσεις

Κατά τις αρχές του θέρους του 2012, καταγράφηκε αριθμός εμφανώς λανθασμένων μετρήσεων. Μία από τις αιτίες των εσφαλμένων παρατηρήσεων ήταν οι πολύ αργές ροές κατά τις απογευματινές και

Εικόνα 4. Ιδιοκατασκευή για προστασία της συσκευής μετρήσεων από τα φερτά υλικά.

βραδινές ώρες, εξαιτίας της μειωμένης ζήτησης νερού στο αρδευτικό δίκτυο. Παρόμοια προβλήματα, δηλαδή παρεμβολή "θορύβου" κατά τις μετρήσεις, σε περιπτώσεις μικρών παροχών ή μικρού αριθμού αιωρούμενων σωματιδίων έχουν παρατηρηθεί και από άλλους ερευνητές και για την επίλυσή τους χρησιμοποιούνται αλγόριθμοι διόρθωσης (Blake and Packman, 2008). Οι αλγόριθμοι αυτοί είτε ενσωματώνονται στο λογισμικό των συσκευών είτε εφαρμόζονται μετά τη λήψη των στοιχείων (post processing).

Στο διάστημα που ακολούθησε και για περισσότερο από ένα μήνα, μετά από συνεχή επικοινωνία, δοκιμές και ανταλλαγή δεδομένων με τεχνικούς του κατασκευαστικού οίκου Unidata, δοκιμάστηκαν διάφορα σχήματα παραμέτρων (schemes), με στόχο να βρεθεί η αιτία του εμφανιζόμενου θορύβου και των εσφαλμένων μετρήσεων. Σημειώνεται ότι ακόμα και οι τεχνικοί της κατασκευάστριας εταιρίας δυσκολεύτηκαν να ερμηνεύσουν τις εκτός ορίων μετρήσεις που έδινε η συσκευή. Μετά από αρκετές δοκιμές και από αναβάθμιση του λογισμικού ώστε να περιέχει βελτιωμένα φίλτρα για τα καταγραφόμενα σήματα, έγινε δυνατό να πάρουμε συνεχείς μετρήσεις χωρίς την εμφάνιση θορύβου. Δυστυχώς όταν επιλύθηκε το παραπάνω πρόβλημα, ήδη οι παροχές στις διώρυγες του αρδευτικού δικτύου ήταν μειωμένες, συχνά δε και μηδενικές ή πολύ μικρές, καθώς πλησίαζε το τέλος της αρδευτικής περιόδου

3.3. Εργαστηριακές μετρήσεις

Πραγματοποιήθηκε εργαστηριακή δοκιμή στο τεχνητό κανάλι δοκιμών του Εργαστηρίου Γενικής και Γεωργικής Υδραυλικής και Βελτιώσεων της Γεωπονικής Σχολής του ΑΠΘ (μήκος 20 m, ορθογωνική διατομή πλάτους 30 και ύψους 45 cm.

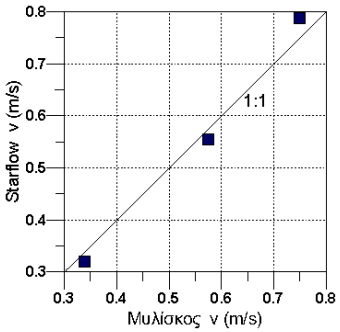
Κατά τις δοκιμές, πραγματοποιήθηκαν ταυτόχρονες μετρήσεις με τη συσκευή Starflow (τοποθετημένη στην αυτοσχέδια βάση ώστε να προσομοιάζουν οι συνθήκες με αυτές των πραγματικών μετρήσεων) και με μυλίσκο του οίκου A.OTT Kempten, Type C1 (Εικόνα 5).

Αρχικός στόχος της δοκιμής στο εργαστηριακό κανάλι ήταν η διαπίστωση της ακρίβειας μέτρησης

σε διάφορες καταστάσεις ροής, καθώς και η εύρεση της σχέσης μεταξύ του δείκτη ταχύτητας και της μέσης ταχύτητας ροής στο κανάλι. Στις "ιδανικές" συνθήκες ροής στο εργαστηριακό κανάλι, η μετρούμενη ταχύτητα με τη συσκευή ADVM και με το μυλίσκο πρακτικά ταυτίζονταν, με αποκλίσεις της τάξης του ±5% (Εικόνα 6).

Εικόνα 5. Ταυτόχρονη μέτρηση με μυλίσκο.

Ωστόσο δεν ήταν δυνατή η δοκιμή σε μεγάλο εύρος ταχυτήτων ροής, εξαιτίας των περιορισμών στη ρύθμιση της ροής του καναλιού.



Εικόνα 6. Σύγκριση μετρήσεων ταχύτητας ροής με συσκευή Starflow και με μυλίσκο.

3.4. Μετρήσεις σε καναλέτα

Αρχικά πραγματοποιήθηκε περιορισμένος αριθμός μετρήσεων σε καναλέτα (τριτεύουσες διώρυγες, Εικόνα 7).

Εικόνα 7. Μετρήσεις σε καναλέτο.

Σε όλες τις δοκιμές διενεργούνταν ταυτόχρονα μετρήσεις με μυλίσκο. Σε δύο περιόδους μετρήσεων, κατά τις οποίες είχε ρυθμιστεί πολύ μικρός χρόνος ολοκλήρωσης, η συσκευή Starflow κατέγραψε σημαντικό αριθμό αρνητικών ταχυτήτων. Οι αρνητικές μετρήσεις πιθανώς να οφείλονται στο μικρό μέγεθος του καναλέτου και στους στροβιλισμούς που προκαλούνταν από τα τραχιά τσιμεντένια τοιχώματα. Σημειώνεται ότι μεταξύ των επιλογών ρύθμισης της συσκευής υπάρχει η δυνατότητα αποκλεισμού των αρνητικών μετρήσεων.

Στη γενική περίπτωση, σε σύντομες περιόδους (διάρκειας μερικών λεπτών η κάθε μία) δοκιμαστικών μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν σε καναλέτα, η απόκλιση της μετρούμενης ταχύτητας με τη συσκευή Starflow σε σχέση με τη μετρούμενη με μυλίσκο ήταν υπερεκτιμημένη κατά 12 με 15%.

3.5. Μετρήσεις σε δευτερεύουσες διώρυγες (ΔΔ)

3.5.1 Αρχική μέτρηση σε ΔΔ

Πραγματοποιήθηκε αρχική δοκιμαστική μέτρηση σε δευτερεύουσα διώρυγα των επιφανειακών δικτύων της πεδιάδας Θεσσαλονίκης (Εικόνα 8). Η συσκευή τοποθετήθηκε στη διώρυγα με τη βάση και τους βραχίονες στήριξης. Η δοκιμή πραγματοποιήθηκε υπό ιδανικές συνθήκες ροής, δηλαδή σταθερή ομοιόμορφη ροή και νερό χωρίς φερτά υλικά αλλά με επαρκή αιωρούμενα ώστε να δίνουν ικανοποιητικό αριθμό ανακλάσεων. Υπό αυτές τις συνθήκες η μέτρηση της συσκευής Y-D ήταν πολύ κοντά στις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν με το μυλίσκο, με απόκλιση της τάξης του 3%. Επιπλέον η υπολογιζόμενη παροχή από τη συσκευή πρακτικά ταυτίστηκε με την υπολογισμένη από τις ταχύτητες ροής στις διατομές που μετρήθηκαν με το μυλίσκο (Πίνακας 1).

Εικόνα 8. Μέτρηση σε δευτερεύουσα διώρυγα.

Πίνακας 1. Συγκριτικές μετρήσεις ADVM-μυλίσκου

Συσκευή	V (mm/s)	Παροχή (l/s)
Μυλίσκος	340	153.0
Starflow	351	157.6
Απόκλιση	+3%	+3%

3.5.2 Μέτρηση σε ΔΔ σε μακροχρόνια τοποθέτηση

Η θέση μακροχρόνιας τοποθέτησης επιλέχθηκε ύστερα από υπόδειξη των υπευθύνων του Τ.Ο.Ε.Β. Αγίου Αθανασίου. Στην πορεία των δοκιμών παρουσιάστηκαν ιδιαίτερα έντονα προβλήματα με τα φερτά υλικά (φύκια, φύλλα, βλαστοί, καλάμια κλπ) τα οποία επικάθονταν στη συσκευή και τους βραχίονες στήριξης με αποτέλεσμα να παρουσιαστούν διάφορα προβλήματα, όπως δυσλειτουργία της συσκευής, παράσυρσή της από τη ροή, κάλυψη των αισθητήρων, δημιουργία στροβιλισμών στη ροή, τοπική ή ακόμα και γενική μείωση της παροχής.

Οι αρχικές μετρήσεις κατά την προσπάθεια τοποθέτησης για παρατεταμένο χρόνο, είχαν αρκετά προβλήματα, τα οποία οφείλονταν τόσο στη συγκέντρωση φερτών υλικών επάνω στη συσκευή, όσο και στην παραμετροποίηση και το λογισμικό της συσκευής. Γενικά η συσκευή ADVM στο διάστημα αυτό υπερεκτιμούσε τις ταχύτητες ροής (Πίνακας 2).

Πίνακας 2. Δοκιμαστική μέτρηση σε ΔΔ

Ημ/νία	Συσκευή	V (mm/s)
2/7/12	Μυλίσκος	473
	Starflow	621
	Απόκλιση	+31.5%
12/7/12	Μυλίσκος	416
	Starflow	497
	Απόκλιση	+19.6%
18/7/12	Μυλίσκος	597
	Starflow	646
	Απόκλιση	+8.2%

3.5.3 Μέτρηση σε ΔΔ μετά την αναβάθμιση του λογισμικού

Οι επόμενες μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν με το αναβαθμισμένο λογισμικό και το τροποποιημένο σετ παραμέτρων, για να αντιμετωπιστούν τα προβλήματα που παρουσιάστηκαν κατά τις προηγούμενες δοκιμές. Τα αποτελέσματα των νέων δοκιμών έδωσαν πολύ καλά αποτελέσματα, γεγονός που πιθανώς να οφείλεται στο αναβαθμισμένο λογισμικό και το διορθωμένο σετ παραμέτρων, ενώ κάποιο ρόλο μπορεί να έπαιξαν και οι μειωμένες παροχές της περιόδου αυτών των μετρήσεων (Πίνακας 3).

Κατά τη δοκιμή της 17/8/2012, το τεταρτημόριο (quartile) που δείχνει την "ποιότητα" της μέτρησης, είχε μέση τιμή 42, κάτω από το 50 που είναι ένα όριο απόλυτα αποδεκτών μετρήσεων, ενώ και οι μέγιστες τιμές δε ξεπερνούσαν το 68. Είναι τιμές αναμενόμενες καθώς το βάθος ροής που ήταν περίπου 0.5m (480mm) σε συνδυασμό με την ταχύτητα ροής που είναι 0.344m/s, δίνουν χαρακτηριστικά στρωτής ροής και δείχνουν ότι ακόμη και στην περιοχή της συσκευής δε δημιουργούνται ιδιαίτεροι στροβιλισμοί. Υπό αυτές τις συνθήκες οι μετρήσεις ταχύτητας ροής της συσκευής ADVM και του μυλίσκου, πρακτικά ταυτίζονται.

Κατά τη μέτρηση της 14/9/2012 μετρήθηκε και η παροχή, με το μυλίσκο με την τυπική μέθοδο του χωρισμού της υγρής διατομής σε τρία τμήματα (δύο τρίγωνα που περιβάλουν ένα ορθογώνιο παραλληλόγραμμο) και μέτρησης της ταχύτητας σε κάθε τμήμα, ενώ με τη συσκευή ADVM θωρήθηκε ως μέση ταχύτητα της υγρής διατομής η μετρούμενη από τη συσκευή.

Πίνακας 3. Συγκριτικές μετρήσεις ADVM-μυλίσκου

Ημ/νία	Συσκευή	V (mm/s)	Παροχή(l/s)
17/8/12	Μυλίσκος	333	
	Starflow	344	
	Απόκλιση	+3.5%	
14/9/12	Μυλίσκος	377	186
	Starflow	353	175
	Απόκλιση	-6.4%	-6%

4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η σχεδόν συστηματική υπερεκτίμηση των ταχυτήτων που μετρούνταν από τη συσκευή ADVM, σε σχέση με αυτές που μετρούνταν με μυλίσκο, πιθανώς να οφείλεται στο γεγονός ότι η συσκευή υπερήχων υπολογίζει την ταχύτητα ροής δεχόμενη ανακλάσεις από έναν όγκο (κώνο) νερού, γεγονός που σημαίνει ότι συνυπολογίζει και συνιστώσες ταχύτητας που δεν είναι κάθετες στην υγρή διατομή. Ο τρόπος αυτός μέτρησης, αντιστοιχεί στη μέτρηση με μυλίσκο, με προπέλες που δέχονται εύρος συνιστωσών σε γωνία ±45°, σε αντιδιαστολή με τις κλασικές προπέλες, όπως αυτή που χρησιμοποιήθηκε για τις μετρήσεις με μυλίσκο, που επηρεάζονται από συνιστώσες ροής σε εύρος γωνιών ±5°. Προφανώς η επίδραση των συνιστωσών αυτών (οι οποίες δεν είναι κάθετες ή σχεδόν κάθετες προς την υγρή διατομή) είναι τόσο σημαντικότερη, όσο πιο "ακατάστατη" (στροβιλώδης) είναι η ροή στην περιοχή μέτρησης.

Σε συνθήκες στρωτής ροής η συσκευή ADVM, έδωσε εξαιρετικά αποτελέσματα, συγκρινόμενα με μετρήσεις που πραγματοποιούνται με μυλίσκο.

Τέλος, σημαντικό ρόλο στη δυνατότητα αξιοποίησης των συσκευών ADVM ή γενικότερα καταγραφικών οργάνων (οι οποίες απαιτούν μόνιμη τοποθέτηση) παίζει η δυνατότητα κατασκευής αυτοκαθαριζόμενου συστήματος προστασίας των συσκευών από φερτά υλικά.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Blake, J.R., and Packman, J.C., 2008. Identification and correction of water velocity measurement errors associated with ultrasonic Doppler flow monitoring. Water and Environment Journal, 22:155-167.

Censor, D., and Newhouse, V., 1988. Generalized Doppler effect: Coherent and incoherent spectra. Journal, Acoustical Society of America, 83(6).

Huang, H., 2004. Index-velocity rating development for rapidly changing flows in an irrigation canal using Broadband StreamPro ADCP and ChannelMaster H-ADCP. 1st International Conference on Managing Rivers in the 21th Century.

Merz, J., 2010. Discharge measurements in low flow conditions with ADCP technology - First experiences in Nepal. Journal of Hydrology and Meteorology, SOHAM-Nepal, Vol.7(1):40-48.

Ruhl, C.A., and Simpson M.R., 2005. Computation of discharge using the index-velocity method in tidally affected areas. US Geological Sruvey, Scientific Investigations Report 2004-2005.

Simpson, M.R., and Oltmann, R.N., 1993. Discharge measurement using an acoustic Doppler current profiler. U.S. Geological Survey Water-Supply Paper 2395, 34p.

Unidata, 6526 Starflow Manual, Issue 3.4, Sep 2011.

Vougioukas, S., Papamichail, D., Georgiou, P.E. and Papadimos, D., 2011. River Discharge Monitoring using a Vertically Moving Side-Looking Acoustic Doppler Profiler. Computers and Electronics in Agriculture, 79, 137-141.

ΚΛΙΜΑΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ: ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΤΟΥ ΥΨΟΥΣ ΒΡΟΧΗΣ ΚΑΙ Η ΠΡΟΣΑΡΜΟΣΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΟΥΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Χαλκίδης Ηρακλής , Ευάγγελος Μπρουζούκης, Μαρία Σακελλαρίου - Μακραντωνάκη
Εργαστήριο Γεωργικής Υδραυλικής, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Φυτόκο, οδός Φυτόκου, 38334, Βόλος,
ichalkidis@uth.gr, Brouzoukis@gmail.com, mask@agr.uth.gr

Η παρούσα εργασία έχει ως σκοπό την διερεύνηση της προσαρμοστικότητας του ύψους βροχής των παγκόσμιων κλιματικών μοντέλων από το Ευρωπαϊκό πρόγραμμα πρόγνωσης για τις κλιματικές αλλαγές, PRUDENCE στις κλιματικές συνθήκες της Ελλάδος. Η έρευνα πραγματοποιήθηκε με δεδομένα από 16 μετεωρολογικούς σταθμούς κατανεμημένους σε όλη την ελληνική επικράτεια. Αρχικά πραγματοποιήθηκε μια στατιστική επεξεργασία των δεδομένων της βροχόπτωσης τόσο της περιόδου 1960-1990 όσο και της 2070-2100 από διάφορα κλιματικά μοντέλα και εξετάστηκε η προσαρμοστικότητά τους στην περιοχή διερεύνησης. Για τη λήψη των δεδομένων χρησιμοποιήθηκαν τα περιοχικά μοντέλα RCAO, HIRHAM και REMO και το σενάριο εκπομπών CO_2, A2 του προγράμματος PRUDENCE. Στη συνέχεια έγινε συσχέτιση των πραγματικών τιμών βροχόπτωσης των μετεωρολογικών σταθμών με τις αντίστοιχες προβλέψεις των μοντέλων και εξήχθησαν μηνιαίες γραμμικές συσχετίσεις. Με τη χρήση των μηνιαίων γραμμικών συσχετίσεων πραγματοποιήθηκε η μετατροπή των μελλοντικών τιμών του μοντέλου σε μελλοντικές τιμές των περιοχών των Μετεωρολογικών σταθμών. Επίσης εξήχθησαν μηνιαίες γραμμικές συσχετίσεις μεταξύ των τιμών των μοντέλων για την περίοδο 1960-1990 με μελλοντικές τιμές των μοντέλων της περιόδου 2070-2100. Αυτές οι μηνιαίες γραμμικές συσχετίσεις εφαρμόζονται στα δεδομένα των μετεωρολογικών σταθμών και προκύπτουν αντίστοιχα χρονοσειρές βροχόπτωσης της περιόδου 2070-2100. Οι παραπάνω δυο μεθοδολογίες συγκρίνονται και εξάγονται τα τελικά συμπεράσματα προσαρμοστικότητας των μοντέλων ανά περιοχή.

Λέξεις – κλειδιά : PRUDENCE, κλιματικά μοντέλα, βροχόπτωση, κλιματικές αλλαγές, μελλοντικές χρονοσειρές .

CLIMATE MODELS: PREDICTION OF RAINFALL AND THEIR ADAPTABILITY IN GREECE

Chalkidis Iraklis, Evaggelos Brouzoukis, Maria Sakellariou - Makrantonaki
Laboratory of Agricultural Hydraulics, Department of Agriculture Crop Production and Rural Environment, University of Thessaly, Fytokou Street, GR-38334, Volos, Greece
ichalkidis@uth.gr, Brouzoukis@gmail.com, mask@agr.uth.gr

This study aims to investigate the adaptability of the global climate models on the weather conditions of Greece and also to investigate their best adjustment in our country. This survey was conducted in selected areas of Greece, with data from 16 weather stations throughout Greece. Initially a statistical treatment of rainfalls data was conducted, from the periods between 1960-1990 and 2070-2100 of various climate models and their adaptability was tested in the area of investigation. Future data found by PRUDENCE, the European program for forecasting climate change. To obtain the data we used the area models RCAO, HIRHAM and REMO and the CO_2 emission scenario A2 of the PRUDENCE project. Then there was a comparison of the observed values with predicted values model, a linear equation was found and with the use of this relationship we converted the simulated future values of the model on future values of the weather stations areas. Then the predicted values of the model were compared with future ones and this comparison was used for the export of future values of a weather station from the existing ones. We completed with the comparison of the two methods and the conclusions.

Keywords: PRUDENCE, climate models, rainfall, climate changes, future time series.

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Συνεχείς προσπάθειες πραγματοποιούνται προκειμένου να προβλεφθεί το τι θα συμβεί στο κλίμα το επόμενο διάστημα, ώστε να ληφθούν τα κατάλληλα μέτρα και να αποτραπούν καταστροφικές συνέπειες. Για αυτό τον λόγο κατασκευάστηκαν κάποια λογισμικά, τα παγκόσμια κλιματικά μοντέλα ή μοντέλα Γενικής Κυκλοφορίας (Global Climate Models ή General Circulation Models, GCM's), τα οποία χρησιμοποιώντας τις μεταβλητές που επηρεάζουν το κλίμα και εξετάζοντας διάφορα σενάρια αύξησης του επιπέδου του CO_2 στην ατμόσφαιρα, προβλέπουν ορισμένα βασικά στοιχεία του μελλοντικού κλίματος όπως βροχόπτωση θερμοκρασία κτλ για όλες τις περιοχές του πλανήτη.

Όλα τα μοντέλα συγκλίνουν στο ότι σε γενικές γραμμές θα υπάρχει αύξηση της μέσης θερμοκρασίας της Γης και σε ορισμένες περιοχές θα είναι ιδιαίτερα μεγάλη. Επίσης θα μειωθεί η συχνότητα της βροχόπτωσης αλλά θα υπάρχουν ορισμένες ακραίες μηνιαίες τιμές του ύψους βροχής σε κάποια μέρη.

Τα GCMs έχουν σχετικά μικρή χωρική οριζόντια ανάλυση, της τάξεως των 250Km, με αποτέλεσμα να μην είναι ιδιαίτερα χρήσιμα στην προσομοίωση του κλίματος σε μικρότερες περιοχές, σε τοπικό δηλαδή επίπεδο. Για το λόγο αυτό, κατασκευάστηκαν τα περιοχικά μοντέλα (Regional Climate Models, RCM's) με χωρική ανάλυση της τάξεως των 25km.

Όμως ακόμη και αυτά τα μοντέλα παρουσιάζουν συστηματικά ή και τυχαία σφάλματα στην προσομοίωση σημαντικών κλιματικών παραμέτρων, όπως η θερμοκρασία και η βροχόπτωση.

Στο πλαίσιο του ευρωπαϊκού ερευνητικού προγράμματος PRUDENCE (Prediction of Regional scenarios and Uncertainties for Defining EuropeaN Climate change risks and Effects) πραγματοποιήθηκε μία σύγκριση των προσομοιώσεων 10 διαφορετικών RCMs τόσο μεταξύ τους, όσο και με πραγματικά δεδομένα για την περίοδο ελέγχου 1960-1989 για την ευρύτερη περιοχή της Ευρώπης. Σε γενικές γραμμές παρατηρήθηκε υπερεκτίμηση της θερμοκρασίας κατά το χειμώνα και το καλοκαίρι και μία τάση υποεκτίμησής της κατά τις μεταβατικές εποχές. Συγκεκριμένα για την περιοχή της Μεσογείου, η θερμοκρασία υποεκτιμάται από τα μοντέλα σε όλες τις εποχές (Jacob *et al.,* 2007). Αντίθετα, η βροχόπτωση υπερεκτιμάται από το μοντέλο σε όλες τις εποχές. Την προσομοίωση της χειμερινής βροχόπτωσης στην Ελλάδα από το GCM HadAM3P μελέτησαν οι Tolika *et al.* (2006) και συμπέραναν ότι το μοντέλο δεν αναπαράγει ικανοποιητικά τα ύψη βροχής, πιθανότατα, σύμφωνα με τους ερευνητές, λόγω της αδυναμίας του να «συλλάβει» την πολύπλοκη ορογραφία της περιοχής, αλλά και το ρόλο του Αιγαίου πελάγους. Σε γενικές γραμμές σημειώνεται υποεκτίμηση των ποσών βροχόπτωσης, κυρίως στις περιοχές που χαρακτηρίζονται από τα μεγαλύτερα ύψη βροχής (δυτική Ελλάδα και νησιά ανατολικού Αιγαίου).

Σκοπός αυτής της εργασίας είναι να βελτιώσει τις εκτιμώμενες τιμές των μοντέλων προσδίδοντας τις διαφοροποιήσεις εξαιτίας των τοπικών κλιματικών συνθηκών, στη θέση κάθε μετεωρολογικού σταθμού.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1. Πηγή δεδομένων

Για την διερεύνηση των μελλοντικών κλιματικών αλλαγών στην Ελλάδα, όσον αφορά την βροχόπτωση, επιλέχτηκαν 16 μετεωρολογικοί σταθμοί κατανεμημένοι σε όλη την ελληνική επικράτεια. Αντίστοιχα από τα περιοχικά κλιματικά μοντέλα του ερευνητικού προγράμματος Prudence επιλέχτηκαν τα περιοχικά μοντέλα HIRHAM, RCAO και REMO τα οποία έχουν ίδιου μεγέθους υπολογιστικό πλέγμα και κοινή εφαρμογή του δυσμενέστερου σεναρίου εκπομπών CO_2, A2. Το σενάριο αυτό προβλέπει: Μέτρια αύξηση του μέσου παγκόσμιου κατά κεφαλήν εισοδήματος. Ιδιαίτερα έντονη κατανάλωση ενέργειας. Ραγδαία αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού. Αργή και τμηματική τεχνολογική ανάπτυξη και μέτριες έως μεγάλες αλλαγές στη χρήση γης. **Ραγδαία** αύξηση της συγκέντρωσης του CO2 στην ατμόσφαιρα η οποία θα φτάσει τα **850 ppm** το 2100. (Επιτροπή Μελέτης Επιπτώσεων κλιματικής αλλαγής Τράπεζας της Ελλάδος, 2011). Διερευνήθηκαν οι πιο κοντινές συντεταγμένες των περιοχικών μοντέλων με τους αντίστοιχους μετεωρολογικούς σταθμούς (Πίνακας 1).

Πίνακας 1. Συντεταγμένες Μετεωρολογικών σταθμών

Α/Α	ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΟΣ ΣΤΑΘΜΟΣ	ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟ		ΥΨΟΜΕΤΡΟ (m)	RCAO (σε μοίρες)		REMO (σε μοίρες)		HIRHAM (σε μοίρες)	
		ΠΛΑΤΟΣ	ΜΗΚΟΣ							
1	ΑΓΡΙΝΙΟ	38,61°	21,38°	24	38,56	21,43	38,69	21,60	38,57	21,43
2	ΑΓΧΙΑΛΟΣ	39,21°	22,80°	15	39,48	22,44	39,00	22,92	39,07	22,48
3	ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΥΠΟΛΗ	40,85°	25,95°	3	40,84	25,71	40,53	25,93	40,93	25,74
4	ΑΡΑΞΟΣ	38,13°	21,41°	12	38,12	21,46	38,20	21,49	38,13	21,48
5	ΦΛΩΡΙΝΑ	40,80°	21,41°	695	40,76	21,27	40,74	21,45	40,79	21,77
6	ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	35,01°	25,73°	10	35,12	25,63	35,45	25,57	35,21	25,87
7	ΙΩΑΝΝΙΝΑ	39,66°	20,85°	484	39,85	20,79	39,84	20,61	39,84	20,74
8	ΚΑΛΑΜΑΤΑ	37,06°	22,10°	11	37,26	22,04	37,04	22,43	37,28	22,10
9	ΛΗΜΝΟΣ	39,75°	25,23°	3	39,96	25,15	39,67	25,01	39,16	25,23
10	ΠΑΤΡΑ	38,25°	21,73°	2	38,12	21,46	38,20	21,49	38,13	21,48
11	ΡΟΔΟΣ	36,40°	28,08°	12	36,37	28,19	36,41	28,30	36,53	28,47
12	ΤΑΤΟΙ	38,10°	23,78°	235	38,19	23,56	38,41	23,39	39,12	23,58
13	ΤΡΙΠΟΛΗ	37,53°	22,40°	652	37,72	22,53	37,53	22,55	37,75	22,59
14	ΧΑΝΙΑ	35,50°	24,03°	62	35,56	24,14	35,67	24,45	35,62	24,31
15	ΧΙΟΣ	38,35°	26,15°	4	38,19	26,20	38,36	26,49	38,30	26,35
16	ΤΑΝΑΓΡΑ	38,31°	23,55°	140	38,63	23,55	38,41	23,39	38,68	23,61

2.2. Αξιολόγηση πραγματικών και υπολογιζόμενων τιμών

Ως κριτήριο συσχέτισης επιλέγεται το συνολικό αθροιστικό ύψος βροχόπτωσης στην 30ετία και συγκρίνονται τα δεδομένα κάθε σταθμού με τις αντίστοιχες εκτιμώμενες τιμές από τα επιλεγμένα RCM μοντέλα.

Έπειτα από τις συγκρίσεις δεδομένων και υπολογισμένων τιμών ζητούμενο είναι η δημιουργία μελλοντικών χρονοσειρών ύψους βροχής που να αντιστοιχούν στα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά κάθε μετεωρολογικού σταθμού

Από την επεξεργασία των δεδομένων των μετεωρολογικών σταθμών και των αντιστοίχων κλιματικών μοντέλων (RCAO,REMO,HIRMAM) λαμβάνονται οι τρείς σταθμοί Αράξου, Φλώρινας και Αγχιάλου οι οποίοι αντίστοιχα έδωσαν τις καλύτερες συσχετίσεις με τα μοντέλα RCAO, REMO και HIRHAM, όπως φαίνεται στον Πίνακα 2.

Συγκεκριμένα επιλέχθηκαν ο σταθμός της Αράξου με το μοντέλο RCAO που το αθροιστικό ύψος βροχόπτωση διαφέρει μόνο κατά +0,81%, ο σταθμός της Φλώρινας με τα μοντέλα REMO με διαφορά + 0,17% και ο σταθμός της Αγχιάλου με το μοντέλο HIRHAM με διαφορά κατά -0,08%.

Για τα μηνιαία δεδομένων της βροχόπτωσης των μετεωρολογικών σταθμών με τις αντίστοιχες τιμές των μοντέλων, εφαρμόζεται η διπλή αθροιστική καμπύλη. Στη συνέχεια η γραμμή τάσης της διπλής αθροιστικής καμπύλης χρησιμοποιείται ως συνάρτηση μετατροπής των μελλοντικών δεδομένων των μοντέλων σε μελλοντικά δεδομένα των μετεωρολογικών σταθμών (1η μέθοδος). Επίσης εφαρμόζεται η διπλή αθροιστική καμπύλη και μεταξύ των τιμών ελέγχου των μοντέλων (1960-1989) και των μελλοντικών τιμών αυτών (2070-2099). Η γραμμή τάσης αυτής της αθροιστικής καμπύλης χρησιμοποιείται ως η νέα συνάρτηση μετατροπής των δεδομένων βροχόπτωσης των μετεωρολογικών σταθμών (1960-1989) σε μελλοντικά δεδομένα των μετεωρολογικών σταθμών (2070-2099)(2η μέθοδος). Τα αποτελέσματα των δύο μεθόδων συγκρίνονται μεταξύ τους και σχολιάζονται.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Από τους υπολογισμούς συσχέτισης του συνολικού αθροιστικού ύψους βροχόπτωσης στην 30ετία (1960-89) προέκυψαν τα αποτελέσματα του Πίνακα 2. στον οποίο εμφανίζονται συνολικά οι αθροιστικές βροχοπτώσεις των Μετεωρολογικών σταθμών και αντιστοίχως των κλιματικών μοντέλων RCAO, REMO και HIRHAM με τα αντίστοιχα ποσοστά προσέγγισης τους με τις παρατηρούμενες τιμές.

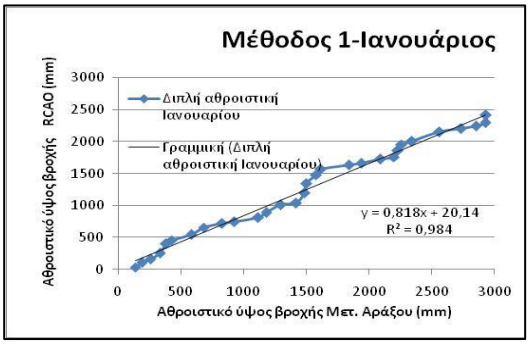
Πίνακας 2. Αθροιστική βροχόπτωση 30 ετών, των Μετεωρολογικών σταθμών και αντιστοίχως των κλιματικών μοντέλων RCAO,REMO,HIRHAM

Α/Α	ΣΤΑΘΜΟΣ	ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ 1960-1989 (mm)	RCAO		REMO		HIRHAM	
			mm	%	mm	%	mm	%
1	ΑΓΡΙΝΙΟ	27694	21057	76,03	34945	126,18	17990	64,96
2	ΑΓΧΙΑΛΟΣ	15246	10909	71,55	24892	163,27	**15234**	**99,92**
3	ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΥΠΟΛΗ	16571	10967	66,19	21268	128,34	15176	91,58
4	ΑΡΑΞΟΣ	20171	**20334**	**100,81**	42225	209,33	17298	85,76
5	ΦΛΩΡΙΝΑ	19849	25590	128,93	**19882**	**100,17**	20873	105,16
6	ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	15259	3160	20,71	19632	128,66	3864	25,33
7	ΙΩΑΝΝΙΝΑ	32678	35565	108,84	33750	103,28	18894	57,82
8	ΚΑΛΑΜΑΤΑ	23912	19627	82,08	14167	59,25	16319	68,25
9	ΛΗΜΝΟΣ	13789	7336	53,20	12857	93,24	13051	94,65
10	ΠΑΤΡΑ	20787	20334	97,82	42224	203,13	17298	83,22
11	ΡΟΔΟΣ	21126	3816	18,06	20442	96,76	25594	121,15
12	ΤΑΤΟΙ	12962	8562	66,06	15455	119,23	11392	87,89
13	ΤΡΙΠΟΛΗ	24344	18171	74,64	12299	50,52	13466	55,32
14	ΧΑΝΙΑ	18496	5719	30,92	12982	70,19	13412	72,51
15	ΧΙΟΣ	16978	9322	54,91	31169	183,58	19258	113,43
16	ΤΑΝΑΓΡΑ	13763	9466	68,77	15455	112,29	14386	104,53

Από την εφαρμογή των μεθόδων 1 και 2 καταρτίζεται ο Πίνακας 3 ενώ στο Σχήμα 1 δίνεται ενδεικτικά η εφαρμογή της διπλής αθροιστικής καμπύλης (Μιμίκου, 1994) του Μοντέλου RCAO με τον Μετεωρολογικό Σταθμό της Αράξου του μηνός Ιανουαρίου για την 1η Μέθοδο.

Από τα αποτελέσματα για τις μελλοντικές τιμές βροχόπτωσης, καταρτίζεται ο Πίνακας 4 στον οποίο συγκρίνονται το αθροιστικό ύψος βροχόπτωσης κάθε μήνα για τις δυο μεθόδους, για τα ζεύγη μοντέλου RCAO-Μετεωρολογικού σταθμού Αράξου, REMO-Μετεωρολογικού σταθμού Φλώρινας και HIRHAM- Μετεωρολογικού σταθμού Αγχιάλου.

Στους πίνακες 3 και 4 αντίστοιχα με το Σχήμα 1, στον άξονα των x θέτονται οι παρατηρούμενες τιμές του σταθμού και στον άξονα y οι υπολογιζόμενες τιμές του μοντέλου.



Σχήμα1. Διπλή αθροιστική καμπύλη RCAO - Αράξου.

Πίνακας 3. Εξισώσεις των γραμμών τάσεων των διπλών αθροιστικών καμπυλών και οι συντελεστές προσδιορισμού για την 1η και 2η μέθοδο

ΜΟΝΤΕΛΟ	ΜΗΝΑΣ	f(x) 1ης Μεθόδου	R^2 1ης Μεθόδου	f(x) 2ης Μεθόδου	R^2 2ης Μεθόδου
RCAO	Ιανουάριος	y = 0,8187x + 20,143	0,98	y = 1,155x + 34,129	0,97
	Φεβρουάριος	y = 1,1466x + 113,87	0,98	y = 0,8959x + 51,788	0,99
	Μάρτιος	y = 0,7964x + 27,378	0,99	y = 1,0038x + 153,72	0,98
	Απρίλιος	y = 0,6048x - 22,536	0,98	y = 0,7274x + 200,76	0,95
	Μάιος	y = 0,4881x - 56,818	0,99	y = 0,8513x - 31,101	0,92
	Ιούνιος	y = 0,4756x + 24,55	0,95	y = 0,3096x + 57,098	**0,86**
	Ιούλιος	y = 0,8301x + 19,611	**0,74**	y = 0,0128x + 1,0612	**0,39**
	Αύγουστος	y = 0,4027x + 49,027	**0,82**	y = 0,0394x + 3,3113	**0,68**
	Σεπτέμβριος	y = 0,717x + 39,386	0,95	y = 0,4577x - 4,1887	0,95
	Οκτώβριος	y = 1,2826x + 208,4	0,96	y = 0,6119x + 14,556	0,98
	Νοέμβριος	y = 1,1819x - 356,84	0,97	y = 0,6215x + 42,018	0,99
	Δεκέμβριος	y = 1,1679x + 322,05	0,98	y = 0,7087x + 144,77	0,96
REMO	Ιανουάριος	y = 1,3125x + 43,988	0,99	y = 0,6613x - 65,199	0,98
	Φεβρουάριος	y = 1,2438x + 97,303	0,98	y = 0,7383x + 56,016	0,97
	Μάρτιος	y = 1,1343x + 256,4	0,98	y = 0,9915x + 197,11	0,98
	Απρίλιος	y = 0,8087x + 10,408	0,99	y = 0,9544x + 90,237	0,99
	Μάιος	y = 0,8162x + 94,919	0,99	y = 1,138x + 99,739	0,97
	Ιούνιος	y = 0,5136x + 183,38	0,95	y = 0,7817x + 262,56	0,96
	Ιούλιος	y = 0,8156x + 45,36	0,93	y = 1,1951x + 81,813	0,97
	Αύγουστος	y = 0,7224x - 132,77	0,97	y = 0,5135x - 17,33	0,98
	Σεπτέμβριος	y = 0,9319x - 59,391	0,97	y = 1,3459x - 133,07	0,95
	Οκτώβριος	y = 1,3645x - 22,311	0,93	y = 1,1613x - 79,129	0,98
	Νοέμβριος	y = 1,2515x + 163,89	0,98	y = 0,9166x - 70,719	0,97
	Δεκέμβριος	y = 1,545x + 332,93	0,93	y = 0,6487x + 142,84	0,92
HIRHAM	Ιανουάριος	y = 0,8575x + 71,765	0,96	y = 1,2385x + 112,75	0,96
	Φεβρουάριος	y = 1,203x + 28,289	0,996	y = 0,7521x + 18,642	0,97
	Μάρτιος	y = 1,0329x + 221,01	0,97	y = 1,0332x + 174,13	0,99
	Απρίλιος	y = 0,6646x - 89,137	0,98	y = 0,7918x + 96,911	0,99
	Μάιος	y = 0,6593x - 6,3392	0,97	y = 0,899x - 3,6809	0,99
	Ιούνιος	y = 0,464x - 0,9142	0,99	y = 0,6449x + 57,223	0,98
	Ιούλιος	y = 0,5912x + 42,671	0,97	y = 0,5786x + 127,27	**0,82**
	Αύγουστος	y = 0,5564x - 9,5605	0,98	y = 0,3234x + 42,899	0,92
	Σεπτέμβριος	y = 1,2977x + 245,35	0,95	y = 0,8233x + 39,142	0,96
	Οκτώβριος	y = 2,11x + 59,301	0,99	y = 0,8579x - 8,4272	0,91
	Νοέμβριος	y = 1,0216x - 38,57	0,99	y = 0,8149x + 51,349	0,99
	Δεκέμβριος	y = 1,3473x + 81,289	0,98	y = 0,8244x - 18,861	0,97

Πίνακας 4. Σύγκριση μελλοντικών τιμών αθροιστικής βροχόπτωσης ανά μήνα των μεθόδων 1 & 2

ΜΟΝΤΕΛΟ	ΜΗΝΑΣ	ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΗ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ ΜΕΘΟΔΟΣ 1	ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΗ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ ΜΕΘΟΔΟΣ 2	ΜΗΝΑΣ	ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΗ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ ΜΕΘΟΔΟΣ 1	ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΗ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ ΜΕΘΟΔΟΣ 2
RCAO	Ιανουάριος	1994	3416	Αύγουστος	57	10
	Φεβρουάριος	2422	2337	Σεπτέμβριος	325	311
	Μάρτιος	1817	2003	Οκτώβριος	1833	1444
	Απρίλιος	894	1103	Νοέμβριος	2048	2318
	Μάιος	425	437	Δεκέμβριος	3360	2844
	Ιούνιος	118	140	**Σύνολο**	**15314**	**16365**
	Ιούλιος	21	3			
REMO	Ιανουάριος	1868	1145	Αύγουστος	359	434
	Φεβρουάριος	1520	1270	Σεπτέμβριος	2027	1660
	Μάρτιος	2043	2083	Οκτώβριος	2413	2005
	Απρίλιος	1716	1732	Νοέμβριος	1997	1905
	Μάιος	2189	2216	Δεκέμβριος	2126	1756
	Ιούνιος	1138	1208	**Σύνολο**	**20669**	**18733**
	Ιούλιος	1272	1318			
HIRHAM	Ιανουάριος	957	2379	Αύγουστος	184	208
	Φεβρουάριος	1395	1203	Σεπτέμβριος	1075	919
	Μάρτιος	1886	1835	Οκτώβριος	1914	1648
	Απρίλιος	871	922	Νοέμβριος	1445	1529
	Μάιος	1038	1038	Δεκέμβριος	1722	1587
	Ιούνιος	407	446	**Σύνολο**	**13287**	**14142**
	Ιούλιος	391	427			

4. Συζήτηση

Από τη σύγκριση της αθροιστικής βροχόπτωσης των μετεωρολογικών σταθμών και των μοντέλων για την περίοδο 1960-1989, παρατηρείται ότι η αθροιστική βροχόπτωση των πέντε σταθμών Αγρινίου, Αράξου, Καλαμάτας, Πάτρας και Τριπόλεως συσχετίζονται καλύτερα με το κλιματικό μοντέλο RCAO. Οι τέσσερεις σταθμοί Φλώρινας, Ιεράπετρας, Ιωαννίνων και Ρόδου συσχετίζονται με το REMO και οι υπόλοιποι επτά σταθμοί Αγχιάλου, Αλεξανδρούπολης, Λήμνου, Τατοΐου, Χανίων, Χίου και Τανάγρας με το HIRHAM.

Σε αυτά τα ζεύγη σταθμών – μοντέλων οι εξισώσεις τάσης της 1ης μεθόδου, έδωσαν πολύ υψηλούς συντελεστές συσχέτισης από 0,996 έως 0,74 με μοναδικές τιμές κάτω από 0,9 αυτές του μοντέλου RCAO για τους μήνες Ιούλιο (0,74) και Αύγουστο (0,82).

Επίσης η 2η μέθοδος, έδωσε πολύ υψηλούς συντελεστές συσχέτισης έως 0,99 με μοναδικές τιμές κάτω από 0,9 αυτές του μοντέλου RCAO για τους μήνες, Ιούνιο (0,86), Ιούλιο (0,39) και Αύγουστο (0,68) και του μοντέλου HIRHAM για τον μήνα Ιούλιο (0,82).

Από τη σύγκριση των δύο μεθόδων με υπολογισμούς από τον πίνακα 4, παρατηρείται ότι για το μοντέλο RCAO η διαφορά μεταξύ των μεθόδων 1 και 2 κυμαίνεται μεταξύ -12,14% και 15,39%. Για το REMO η διαφορά μεταξύ των μεθόδων 1 και 2 κυμαίνεται από -14,90% έως 41,18% ενώ για το HIRHAM μεταξύ -106,98% και 14,66% .

Οι μεγάλες διακυμάνσεις που παρατηρούνται από μήνα σε μήνα μεταξύ των δύο μεθόδων, εξαλείφονται όταν έπειτα από υπολογισμούς, συγκριθούν οι ετήσιες διαφορές οι οποίες είναι μικρότερες του 7% και συγκεκριμένα 3,75% για το RCAO, 6,82% για το REMO και -2,18% για το HIRHAM.

Η πρόβλεψη των κλιματικών αλλαγών και ιδιαίτερα της βροχόπτωσης είναι πολύ σημαντική για την σωστή μελέτη και κατασκευή υδραυλικών έργων στα οποία ο χρόνος κατασκευής μπορεί να είναι αρκετά έτη και η λειτουργική τους ζωή περισσότερο από 50 έτη. Αντίστοιχα σημαντική είναι και για την γεωργία εφόσον οι αρδεύσεις είναι ο σημαντικότερος παράγοντας παραγωγικότητας μιας καλλιέργειας. Η πρόβλεψη των κλιματικών αλλαγών θα βοηθήσει στον ορθό αγροτικό σχεδιασμό της χώρας και την ορθή αναδιάρθρωση των καλλιεργειών όπου απαιτηθεί.

5. Συμπεράσματα

Συμπερασματικά το μοντέλο HIRHAM έχει μια ελαφρά υπεροχή σε Πανελλαδικό επίπεδο ενώ όλοι οι μετεωρολογικοί σταθμοί της Πελοποννήσου συσχετίζονται καλύτερα με το RCAO μοντέλο.

Από τις συσχετίσεις των μοντέλων προκύπτει ότι το μοντέλο RCAO υστερεί σημαντικά τους θερινούς μήνες και κυρίως για τους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο έναντι του HIRHAM και του REMO και ιδιαίτερα με την εφαρμογή της 2ης μεθόδου.

Οι μεγάλες διακυμάνσεις των δυο μεθόδων οφείλονται στις μικρές αθροιστικές τιμές βροχόπτωσης που εμφανίζονται τους θερινούς μήνες, οπότε μικρές σχετικά διαφορές εμφανίζουν μεγάλες ποσοστιαίες διακυμάνσεις, οι οποίες εξαλείφονται όταν η σύγκριση των μεθόδων γίνει σε ετήσια βάση. Συνεπώς οι δυο μέθοδοι δεν διαφέρουν σημαντικά οπότε καλό είναι για την Ελληνική επικράτεια να επιλέγεται η μέθοδος που τους θερινούς μήνες δίνει μεγαλύτερες τιμές βροχόπτωσης.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Μιμίκου, Μ.,(1994). Τεχνολογία υδατικών πόρων. Παπασωτηρίου, Αθήνα, 564 σελ.

Τράπεζας της Ελλάδος, (2011). Επιτροπή Μελέτης Επιπτώσεων κλιματικής αλλαγής. Σενάρια ανθρωπογενούς Παρέμβασης στην Κλιματική Αλλαγή και τα Προγράμματα Prudence και Ensembles. Αθήνα, σελ, 1-11.

Feyen, L., R. Vazquez, K. Christianes, O. Sels and J. Feyen.(2000). Application of a distributed physically-based hydrological model to a medium size catrchment. Hydrology & Earth System Sciences, 4(1): p.47-63.

Jacob D, Bärring L, Christensen OB, Christensen JH, de Castro M, Déqué M, Giorgi F, Hagemann S, Hirschi M, Jones R, Kjellström E, Lenderink G, Rockel B, Sánchez E, Schär C, Seneviratne SI, Somot S, van Ulden A and van den Hurk B ,(2007). An inter- comparison of regional climate models for Europe: model performance in present-day climate. Climatic Change 81: 31-52.

League, K. and R.E. Green.,(1991). Statistical and graphical methods for evaluating solute transport models: overview and applications. Journal of Contaminant Hydrology 7: 51-73.

Nash, J.E., Sutcliffe, J.V.,(1970). Riverflow forecasting through conceptual models. Part 1: a discussion of principles. Journal of Hydrology, 10: 282-290.

Tolika K, Maheras P, Flocas HA and Arseni-Papadimitriou A,(2006). An evaluation of a General Circulation Model (GCM) and the NCEP-NCAR reanalysis data for winter precipitation in Greece. International Journal of Climatology 26: 935-955.

Vazquez R.F., L. Feyen, J. Feyen and J.C Refsgaard, (2002). Effect of grid size on effective parameters and model performance of the MIKE-SHE code. Hydrological Processes.16:355-372.

ΤΡΙΔΙΑΣΤΑΤΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΕΧΝΗΤΟΥ ΕΜΛΟΥΤΙΣΜΟΥ ΤΟΥ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΡΙΖΟΥ–ΠΕΤΡΑΙΑΣ–ΑΡΣΕΝΙΟΥ (Ν.ΠΕΛΛΑΣ)

Δ.Σεραφείμ και Θ.Ζήσης
Τομέας Εγγείων Βελτιώσεων, Εδαφολογίας και Γεωργικής Μηχανικής
Γεωπονική Σχολή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 54124 Θεσσαλονίκη

Για την αξιολόγηση της εφαρμογής τεχνητού εμπλουτισμού του υδροφορέα της περιοχής Ριζού-Πετριάς-Αρσενίου χρησιμοποιήθηκε ο κώδικας MODFLOW για την ανάπτυξη ενός τριδιάστατου μοντέλου προσομοίωσης της υπόγειας ροής. Η διοχέτευση του νερού εμπλουτισμού στον υδροφορέα θεωρείται ότι γίνεται διαμέσου δεκαπέντε (15) υδρογεωτρήσεων διπλού σκοπού. Εξετάζονται είκοσι οκτώ (28) διαφορετικά σενάρια τεχνητού εμπλουτισμού και υπολογίζεται για όλα η μεταβολή της πιεζομετρικής στάθμης με το χρόνο και η ποσότητα του νερού που αποθηκεύεται στον υδροφορέα κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης. Η εφαρμογή του μοντέλου έδειξε ότι ακόμη και μικρής χρονικής διάρκειας τεχνητός εμπλουτισμός έχει θετικά αποτελέσματα.

Λέξεις κλειδιά: υδροφορέας, τεχνητός εμπλουτισμός, αριθμητική προσομοίωση, μέθοδοι πεπερασμένων διαφορών

THREE-DIMENSIONAL SIMULATION OF ARTIFICIAL RECHARGE OF THE RIZO–PETRIA–ARSENI AQUIFER (PREFECTURE OF PELLA)

D.Serafim and T.Zissis
Dept. of Hydraulics, Soil Science and Agricultural Engineering, School of Agriculture, Aristotle University of Thessaloniki, 54124 Thessaloniki, Greece

In order to evaluate the effect of artificial recharge on the aquifer of Rizo-Petria-Arseni region, the MODFLOW code was used for the development of a three-dimensional model to simulate groundwater flow. The injection of water into the aquifer was considered to be achieved through fifteen (15) existing irrigation wells. Twenty-eight (28) different scenarios of artificial recharge were examined and the variation of piezometric head with time as well as the quantity of water that is stored in the aquifer during the simulation time were computed for all scenarios. The implementation of the model showed that artificial recharge of even a small duration of time had a positive effect on the aquifer.

Key words: aquifer, artificial recharge, numerical simulation, finite-difference methods

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Για την αντιμετώπιση της λειψυδρίας στην περιοχή Ριζού–Πετριάς–Αρσενίου στο Ν. Πέλλας ανορύχθηκαν, κατά τα έτη 1990-1993, αρδευτικές γεωτρήσεις, οι οποίες παρόλο που έλυσαν προσωρινά το πρόβλημα της ανεπάρκειας του αρδευτικού νερού, είχαν ως επακόλουθο την υπεράντληση του υδροφορέα και την προοδευτική μείωση της παροχής των γεωτρήσεων εξαιτίας της πτώσης στάθμης του νερού σε αυτές. Η λειτουργία των υπαρχουσών γεωτρήσεων αλλά και αυτών που θα κατασκευασθούν μελλοντικά στην ευρύτερη περιοχή, εκτιμάται ότι θα οδηγήσουν στην ένταση των παραπάνω προβλημάτων με μη αναστρέψιμες περιβαλλοντικές επιπτώσεις και με σημαντικές οικονομικές και κοινωνικές συνέπειες.

Για τους παραπάνω λόγους, στο πλαίσιο του ερευνητικού προγράμματος του Ινστιτούτου Εγγείων Βελτιώσεων του Εθνικού Ιδρύματος Αγροτικής Έρευνας (ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε.) τα έτη 1993-1996 και σε συνεργασία με τον τομέα Εγγείων Βελτιώσεων, Εδαφολογίας και Γεωργικής Μηχανικής της Γεωπονικής Σχολής του Α.Π.Θ, έγινε διερεύνηση εφαρμογής της μεθόδου του τεχνητού εμπλουτισμού του υδροφορέα της περιοχής, από νερό προερχόμενο από πηγή που βρίσκεται πλησίον του οικισμού των Σεβαστειανών. Εκτελέστηκαν πειράματα τεχνητού εμπλουτισμού με θετικά αποτελέσματα (Βαφειάδης κ.α., 1994; Βαφειάδης και Πανώρας, 1996α,β; Πανώρας και Βαφειάδης, 1999) και προτάθηκε να χρησιμοποιηθούν για την εφαρμογή τεχνητού εμπλουτισμού δεκαπέντε (15) υφιστάμενες γεωτρήσεις του δικτύου του ΤΟΕΒ Εδεσσαίου, στην περιοχή δικαιοδοσίας του οποίου ανήκουν τα αγροκτήματα του Ριζού, της Πετριάς και του Αρσενίου.

Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας, χρησιμοποιήθηκε ο κώδικας MODFLOW μέσα από το γραφικό περιβάλλον του Argus One, για την ανάπτυξη ενός τριδιάστατου μοντέλου για την προσομοίωση του φαινομένου του τεχνητού εμπλουτισμού του υδροφορέα της περιοχής. Καθορίστηκαν και εκτελέστηκαν αρχικά δύο βασικά σενάρια χωρίς τεχνητό εμπλουτισμό, τα οποία χρησιμεύουν ως σενάρια αναφοράς για την αξιολόγηση του τεχνητού εμπλουτισμού στον υδροφορέα. Τα σενάρια αναφοράς αφορούν το ένα την προσομοίωση του υδροφορέα, όταν η τροφοδοσία του με νερό είναι κανονική και το άλλο όταν η τροφοδοσία του είναι μειωμένη. Η χρονική διάρκεια της προσομοίωσης για κάθε σενάριο είναι περίπου τρία έτη (1188 ημέρες). Ο τεχνητός εμπλουτισμός εφαρμόστηκε στο βασικό σενάριο των μειωμένων εισροών, είχε διάρκεια ενός, δύο, τριών ή έξι μηνών ανά υδρολογικό έτος και εφαρμόστηκε σε διαδοχικά ή μη έτη, με σταθερή παροχή εμπλουτισμού. Μελετήθηκαν συνολικά είκοσι οχτώ (28) διαφορετικά σενάρια τεχνητού εμπλουτισμού

μέσω δεκαπέντε (15) υδρογεωτρήσεων διπλού σκοπού. Υπολογίζεται, για όλα τα σενάρια, η μεταβολή με το χρόνο της πιεζομετρικής στάθμης και η ποσότητα του νερού που αποθηκεύεται στον υδροφορέα κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης. Προκύπτει ότι προκαλείται ικανοποιητική άνοδος του πιεζομετρικού φορτίου ακόμη και για μικρής χρονικής διάρκειας τεχνητό εμπλουτισμό.

2. ΚΑΤΑΡΤΙΣΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

2.1. Κώδικας MODFLOW - Εξίσωση κίνησης υπόγειου νερού

Η γενική μορφή της εξίσωσης που περιγράφει την κίνηση του υπόγειου νερού σταθερής πυκνότητας διαμέσου ενός πορώδους υλικού, και χρησιμοποιείται στον κώδικα MODFLOW είναι η παρακάτω μερική διαφορική εξίσωση (McDonald and Harbaugh, 1988):

$$\frac{\partial}{\partial x}(K_{xx}\frac{\partial h}{\partial x})+\frac{\partial}{\partial y}(K_{yy}\frac{\partial h}{\partial y})+\frac{\partial}{\partial z}(K_{zz}\frac{\partial h}{\partial z})+W=S_s\frac{\partial h}{\partial t} \quad (2.1)$$

όπου: K_{xx}, K_{yy}, K_{zz}: οι τιμές της υδραυλικής αγωγιμότητας κατά τη διεύθυνση των αξόνων συντεταγμένων x, y και z αντίστοιχα, οι οποίοι θεωρούνται ότι είναι παράλληλοι με τους κύριους άξονες της υδραυλικής αγωγιμότητας [L/T], h: το πιεζομετρικό φορτίο [L], W: οι εξωτερικές εισροές ή εκροές ανά μονάδα όγκου [T^{-1}], S_s: η ειδική αποθηκευτικότητα του πορώδους μέσου [L^{-1}] και t: ο χρόνος [T].

Η επίλυση της εξίσωσης ροής του υπόγειου νερού με τον κώδικα MODFLOW γίνεται με τη μέθοδο των πεπερασμένων διαφορών. Στη μέθοδο αυτή, το συνεχές σύστημα που περιγράφεται από την εξίσωση (2.1) αντικαθίσταται από ένα πεπερασμένο αριθμό σημείων στο χώρο και στο χρόνο, ενώ οι μερικές παράγωγοι αντικαθίστανται από όρους που υπολογίζονται από τις διαφορές των φορτίων στα σημεία αυτά. Η διαδικασία αυτή οδηγεί σε ένα σύστημα γραμμικών αλγεβρικών εξισώσεων, η επίλυση του οποίου δίνει τιμές φορτίου σε συγκεκριμένο χώρο και χρόνο.

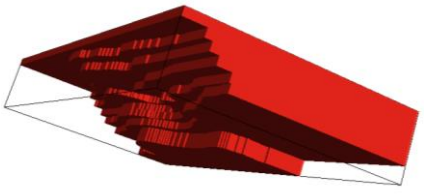
2.2. Οριοθέτηση και χωρική διακριτοποίηση του υδροφορέα

Ο υπόγειος υδροφορέας που μελετήθηκε είναι ένας υπό πίεση υδροφορέας που αποτελείται από επάλληλα κλειστά υπό πίεση γεωλογικά στρώματα με υδραυλική επικοινωνία μεταξύ τους. Το πάχος του υδροφορέα αυξάνεται βαθμιαία από τα 20-40 m στα δυτικά μέχρι τα 160 m στα ανατολικά της περιοχής μελέτης. Τα όρια του υδροφορέα επιλέχθηκαν έτσι ώστε να προσεγγίζουν κατά το δυνατό τα φυσικά γεωγραφικά όρια της περιοχής. Έτσι, ως δυτικό όριο σχεδιάστηκε μία ευθεία γραμμή η οποία ακολουθεί περίπου το σχηματισμό των ορεινών όγκων και διαχωρίζει την υπόλοιπη πεδινή περιοχή. Το όριο αυτό αποτελεί την πηγή φόρτισης του υδροφορέα από τα καρστικά νερά των ασβεστολιθικών πετρωμάτων και το τμήμα των κατακρημνισμάτων που διηθείται πλευρικά. Προσομοιώθηκε στο MODFLOW με το πακέτο Wells (WEL) τοποθετώντας σε όλο το μήκος του πηγάδια φόρτισης (Injection wells). Ως ανατολικό όριο σχεδιάστηκε επίσης μία ευθεία γραμμή, η οποία ακολουθεί περίπου την ισοπιεζομετρική καμπύλη των 17 m ανατολικά της περιφερειακής τάφρου (T66). Το όριο αυτό προσομοιώθηκε με το πακέτο Constant Head (CHD), ως όριο προκαθορισμένου φορτίου. Ως βόρειο όριο της περιοχής μελέτης σχεδιάστηκε μια ευθεία παράλληλη προς τη διεύθυνση ροής του ποταμού Εδεσσαίου, η οποία είναι παράλληλη και προς τη ροή του υπόγειου νερού. Ως νότιο όριο της περιοχής μελέτης λήφθηκε το γεωγραφικό όριο μεταξύ των Νομών Πέλλας και Ημαθίας, όπου οι γραμμές ροής είναι παράλληλες προς το όριο αυτό. Τόσο το βόρειο όσο και το νότιο όριο, όπως προκύπτει από την πιεζομετρία, αποτελούν όρια μηδενικής ροής.

Με βάση τα όρια του υδροφορέα και αφού πρώτα ορίστηκε το μέγεθος των κελιών κατά τη x και y-διεύθυνση (50*50 m), σχεδιάστηκε στη συνέχεια ο κάνναβος που καλύπτει την υπό μελέτη περιοχή.

Το μεταβλητό πάχος του υδροφορέα προσομοιώθηκε με τη χωρική του διακριτοποίηση κατά τον κατακόρυφο άξονα σε 7 ξεχωριστές γεωλογικές ενότητες (Σχήμα 1), οι οποίες συνδέονται υδραυλικά μεταξύ τους. Οι ενότητες αριθμούνται από πάνω προς τα κάτω.

Η πρώτη γεωλογική ενότητα αντιστοιχεί στην οροφή του υδροφορέα και το υψόμετρο της οροφής της (top elevation) ορίστηκε ίσο με μηδέν. Η βάση κάθε γεωλογικής ενότητας (bottom elevation) συνδέθηκε με την οροφή της επόμενης. Το πάχος των ενοτήτων είναι 20 m για τις πρώτες έξι γεωλογικές ενότητες και 40 m για την έβδομη. Εκτός από την πρώτη ενότητα η οποία καλύπτει ολόκληρη την επιφάνεια του καννάβου, οι υπόλοιπες έξι καλύπτουν η κάθε μια διαφορετική επιφάνεια στον κάνναβο. Αυτό επιτεύχθηκε ορίζοντας σε κάθε γεωλογική ενότητα μια περιοχή η οποία αποτελείται από κελιά που δεν είναι ενεργά και δε συμμετέχουν στη διαδικασία της προσομοίωσης. Ο ορισμός της περιοχής αυτής έγινε σχηματίζοντας σε κάθε ενότητα δύο διακριτά τμήματα στον κάνναβο, από τα οποία το ένα αποτελεί την ενεργή και το άλλο την ανενεργή περιοχή. Προχωρώντας διαδοχικά προς τις κατώτερες γεωλογικές ενότητες, αυξάνοντας κάθε φορά την έκταση της ανενεργής επιφάνειας, εκείνη που απομένει ως ενεργή σχηματίζει στο σύνολό της το μεταβλητό πάχος του υδροφορέα σε όλη την περιοχή μελέτης, το οποίο αυξάνει από δυτικά προς ανατολικά, όπως δείχνει το Σχήμα 1.

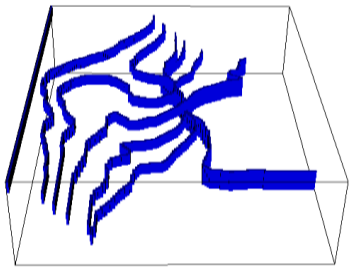


Σχήμα 1. Τριδιάσταση απεικόνιση της γεωμετρίας του υδροφορέα

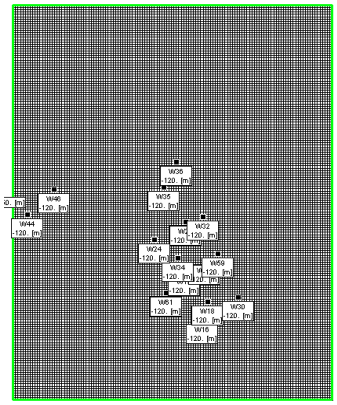
Η πρώτη ενότητα, όπως προαναφέρθηκε, είναι ενεργή σε όλη την έκτασή της. Αποτελείται από κελιά διαστάσεων 50 m*50 m*20 m. Συγκεκριμένα, με τις 172 στήλες και τις 131 γραμμές που υπάρχουν,

καλύπτεται έκταση 56,33 km², με τις αποστάσεις στο οριζόντιο επίπεδο να διαμορφώνονται στα 6550 m και στα 8600 m στη x και y-διεύθυνση, αντίστοιχα, ενώ ως προς τη z-διεύθυνση η μία μόνο στρώση κελιών έχει ύψος 20 m.

Στο δυτικό όριο η πρώτη σειρά των ενεργών κελιών απεικονίζει τα πηγάδια της πλευρικής φόρτισης του υδροφορέα (Σχήμα 2).



Σχήμα 2. Απεικόνιση της τοποθέτησης των πηγαδιών πλευρικής φόρτισης του υδροφορέα



Σχήμα 3. Θέση των γεωτρήσεων εμπλουτισμού στον κάνναβο

Για την κατάρτιση και εφαρμογή του μοντέλου του υδροφορέα με σκοπό την αξιολόγηση του τεχνητού εμπλουτισμού, ελήφθησαν υπόψη τα εξής:

- Χρησιμοποιήθηκαν για τον τεχνητό εμπλουτισμό υφιστάμενες υδρογεωτρήσεις στην περιοχή (Σχήμα 3), οι οποίες λειτουργούσαν ως γεωτρήσεις άντλησης, αλλά ταυτόχρονα εξοπλίστηκαν και για την εφαρμογή μέσω αυτών, του νερού εμπλουτισμού.
- Ήταν γνωστή η μέση παροχή άντλησης των γεωτρήσεων, οπότε η παροχή εμπλουτισμού λήφθηκε ίση με το μισό περίπου της παροχής άντλησης. Η τιμή της παροχής άντλησης είναι μία μέση τιμή παροχής των γεωτρήσεων της περιοχής και τα δεδομένα πάρθηκαν από το μητρώο που διατηρεί ο ΤΟΕΒ Εδεσσαίου, στην περιοχή δικαιοδοσίας του οποίου ανήκουν οι γεωτρήσεις της περιοχής μελέτης.
- Χρησιμοποιήθηκε το πακέτο Well Package (WEL) του MODFLOW για την προσομοίωση τόσο της άντλησης όσο και του τεχνητού εμπλουτισμού μέσω αυτών των 15 γεωτρήσεων.
- Για να προσομοιωθεί η άντληση και από την υπόλοιπη περιοχή μελέτης, χρησιμοποιήθηκε το πακέτο Recharge (RCH) του MODFLOW, στο οποίο εισάγεται, για τις περιόδους της άντλησης, η επιλεγμένη παροχή άντλησης με αρνητικό πρόσημο. Η ποσότητα άντλησης από την υπόλοιπη περιοχή προέρχεται μόνο από την πρώτη γεωλογική ενότητα και θεωρήθηκε ότι είναι ίση με την ποσότητα η οποία αντλείται από τις 15 γεωτρήσεις.

2.3. Χρονική διακριτοποίηση

Επειδή περιγράφεται φαινόμενο ασταθούς ροής, διακριτοποιήθηκε και η μεταβλητή του χρόνου. Η συνολική περίοδος προσομοίωσης (1188 d) χωρίστηκε σε έντεκα (11) χρονικές περιόδους (stress periods) και επιλέχθηκε σταθερό ημερήσιο χρονικό βήμα (Δt=1d). Ως κριτήριο σύγκλισης λήφθηκε η τιμή 0,001 m για το κριτήριο HCLOSE και η τιμή 100 m³/d για το κριτήριο RCLOSE.

2.4. Ρύθμιση και επαλήθευση

Με βάση τα αποτελέσματα δοκιμαστικών αντλήσεων σε γεωτρήσεις της περιοχής τα οποία παρουσιάζονται στη διδακτορική διατριβή της Ράπτη (1996), ελήφθη η διοχετευτικότητα (T) του υδροφορέα στο δυτικό όριο ίση με 1000 m²/d.

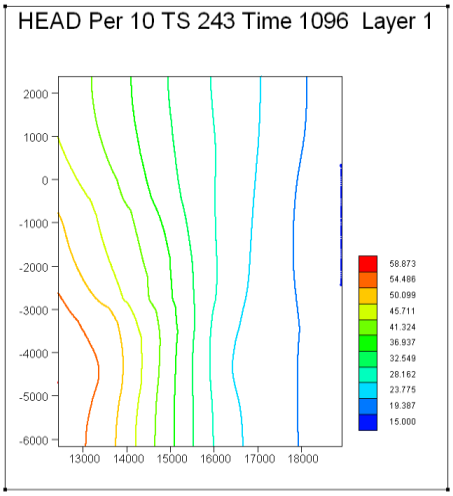
Χρησιμοποιώντας τον πιεζομετρικό χάρτη του Μαΐου 1991 και τη συγκεκριμένη τιμή της διοχετευτικότητας προσδιορίστηκε η πλευρική εισροή (Q) από το δυτικό όριο του υδροφορέα στα 56,000 m³/d. Επιπλέον, η ποσότητα αυτή θεωρήθηκε ότι μεταβάλλεται μέσα στο έτος με μια αναλογία 4/5 (από 56,000 σε 44,800 m³/d). Βρέθηκε ότι με τον τρόπο αυτό υπολογίζεται μία μέση διακύμανση του φορτίου στον υδροφορέα η οποία προσεγγίζει την παρατηρηθείσα διακύμανση στη διάρκεια ενός έτους.

Για την υδραυλική αγωγιμότητα (K) επιλέχθηκε η μέση τιμή των 8 m/d για το μεγαλύτερο μέρος της περιοχής, ενώ με δεδομένη την υπολογισθείσα πλευρική εισροή τροποποιήθηκαν, χρησιμοποιώντας τη μέθοδο της δοκιμής και σφάλματος, οι τιμές της υδραυλικής αγωγιμότητας σε τρεις υποπεριοχές της περιοχής μελέτης. Οι τιμές διαμορφώθηκαν έτσι στα 2 m/d κοντά στο νότιο όριο, στα 4 m/d στο κέντρο και νότια της περιοχής των γεωτρήσεων (ή της περιοχής όπου βρίσκονται 13 γεωτρήσεις του ΤΟΕΒ) και στα 11,2 m/d στο βορειοδυτικό τμήμα της περιοχής. Αυτό έγινε ώστε να προσεγγίζεται ικανοποιητικά η κατανομή του πιεζομετρικού φορτίου σε όλη την περιοχή, για συνθήκες σταθερής ροής του Μαΐου 1991 (Σχήμα 4).

Το όριο προκαθορισμένου φορτίου το οποίο αντιπροσωπεύει το ανατολικό όριο της περιοχής, μεταβάλλεται τόσο κατά θέσεις όσο και με το χρόνο. Συγκεκριμένα, μεταβάλλεται κατά 0,5 m το μήνα κι έτσι κατά την περίοδο της άρδευσης (Ιούνιο-Ιούλιο-Αύγουστο) μειώνεται από 17 m σε 12,5 m και μέχρι τέλη Μαΐου έχει επανέλθει στα 17 m. Η επιλογή αυτή έγινε γιατί με βάση τις μετρήσεις του έτους 1991, προκύπτει ότι υπάρχει μια διακύμανση του φορτίου μέσα στο έτος, που είναι περίπου 4,5 m. Η υψηλότερη τιμή παρατηρείται το Μάιο και η χαμηλότερη τον Οκτώβριο.

Η επαλήθευση του μοντέλου έγινε με βάση τα δεδομένα ενός πειράματος που πραγματοποιήθηκε στη γεώτρηση Π34 της Πετριάς. Οι τιμές του μετρημένου και του υπολογισμένου πιεζομετρικού φορτίου σε γεώτρηση παρατήρησης είχαν απόκλιση

μισού μέτρου, ακρίβεια η οποία κρίνεται ικανοποιητική, καθώς η τιμή του υπολογισμένου με το πρόγραμμα φορτίου αναφέρεται στο κελί και όχι στο σημείο της γεώτρησης παρατήρησης.



Σχήμα 4. Ισοπιεζομετρικές καμπύλες για τη σταθερή κατάσταση του Μαΐου 1991

3.ΒΑΣΙΚΑ ΣΕΝΑΡΙΑ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΕΧΝΗΤΟΥ ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΟΥ

3.1. Βασικά Σενάρια

Το πρώτο βασικό σενάριο απεικονίζει την κατάσταση του υδροφορέα κατά την οποία οι εισροές εκτιμήθηκαν με βάση τον πιεζομετρικό χάρτη του Μαΐου 1991. Οι εισροές αυτές θεωρήθηκε ότι μεταβάλλονται μέσα στο έτος με μια αναλογία 4/5.

Το δεύτερο σενάριο απεικονίζει την περίπτωση όπου η πλευρική εισροή νερού στον υδροφορέα είναι μειωμένη κατά 20%. Αυτό έγινε καθώς με βάση τα βροχομετρικά στοιχεία της περιοχής μελέτης παρατηρήθηκαν διαδοχικά έτη με μειωμένο ύψος βροχόπτωσης σε σχέση με το μέσο όρο που αναμενόταν στην περιοχή, συχνά και τρία συνεχόμενα χρόνια και συνεπώς θεωρήθηκε ότι και οι εισροές στον υδροφορέα θα είναι μειωμένες.

Η αρδευτική περίοδος θεωρήθηκε ότι διαρκεί 92 ημέρες (Ιούνιο-Ιούλιο-Αύγουστο) και ο ρυθμός άντλησης των γεωτρήσεων είναι 100 m^3/hr για 18ωρη λειτουργία τους την ημέρα. Κάθε γεώτρηση αντλεί 165,600 m^3 σε όλη την αρδευτική περίοδο. Επιπλέον, θεωρήθηκε ότι υπάρχει ισόποση άντληση και από άλλες γεωτρήσεις οι οποίες είναι διάσπαρτες και ομοιόμορφα κατανεμημένες σε όλη την περιοχή μελέτης.

Η διάρκεια της προσομοίωσης για τα δύο βασικά σενάρια είναι 1188 ημέρες και χωρίστηκε σε έντεκα (11) χρονικές περιόδους (stress periods).

3.2. Τεχνητός εμπλουτισμός

Ο τεχνητός εμπλουτισμός εφαρμόστηκε στο βασικό σενάριο των μειωμένων εισροών.

Η διάρκεια της προσομοίωσης κάθε φορά είναι 1188 ημέρες. Χωρίστηκε σε δεκατέσσερις (14) χρονικές περιόδους (αντί για 11 των δύο σεναρίων αναφοράς) και εφαρμόστηκε τεχνητός εμπλουτισμός τον ένα χρόνο, τα δύο ή και τα τρία χρόνια, καθώς και σε διάφορους συνδυασμούς αυτών. Προέκυψε έτσι ένα σύνολο 28 σεναρίων. Ο εμπλουτισμός επιλέχθηκε να διαρκεί 1, 2, 3 ή 6 μήνες ανά έτος. Ο μηνιαίος εμπλουτισμός γίνεται το μήνα Μάιο. Ο δίμηνος τους μήνες Απρίλιο και Μάιο, ο τρίμηνος τους μήνες Μάρτιο-Απρίλιο-Μάιο, και ο εξάμηνος τους μήνες Δεκέμβριο ως Μάιο.

Ο ρυθμός εμπλουτισμού είναι 50 m^3/hr ή 900 m^3/d για κάθε γεώτρηση. Με τις 15 επιλεγμένες γεωτρήσεις η ημερήσια ποσότητα νερού η οποία διοχετεύεται στον υδροφορέα είναι 13,500 m^3. Η ποσότητα αυτή αντιστοιχεί στη μισή εκείνης που αντλείται από τις 15 υδρογεωτρήσεις.

Στο Σχήμα 5α παρουσιάζεται η επίδραση του εξάμηνου εμπλουτισμού (Δεκέμβριο ως Μάιο) κατά το δεύτερο έτος της προσομοίωσης. Παρατηρείται σημαντική επίδραση κατά το χρόνο στον οποίο αυτός εφαρμόζεται, ενώ στο τέλος της περιόδου αυτής, το φορτίο ξεπερνάει αρκετά την τιμή εκείνου που αντιστοιχεί στο βασικό σενάριο με τις μειωμένες εισροές και φυσική τροφοδοσία του υδροφορέα κατά περίπου 3 m, ενώ ξεπερνά ακόμη και το φορτίο που αντιστοιχεί στο βασικό σενάριο με τις κανονικές εισροές κατά 1,16 m. Στη συνέχεια σταδιακά μειώνεται και τον τρίτο χρόνο πλησιάζει στα επίπεδα του σεναρίου με τις μειωμένες εισροές.

Στο Σχήμα 5β όπου παρουσιάζεται η εφαρμογή του εξάμηνου εμπλουτισμού και στα τρία χρόνια της προσομοίωσης, φαίνεται ότι αυτός έχει σημαντική επίδραση σε όλη τη διάρκεια της προσομοίωσης. Στα χρονικά διαστήματα κατά τα οποία εφαρμόζεται, το φορτίο είναι υψηλότερο εκείνου και των δύο βασικών σεναρίων. Στο τέλος κάθε χρόνου εμπλουτισμού, η τιμή του πιεζομετρικού φορτίου είναι υψηλότερη τόσο του σεναρίου με τη μειωμένη φυσική τροφοδοσία του υδροφορέα (κατά 3,02 m, 3,51 m και 3,76 m), όσο και του σεναρίου με την κανονική φυσική τροφοδοσία και χωρίς τεχνητό εμπλουτισμό του υδροφορέα (κατά 1,94 m, 1,71 m και 1,52 m).

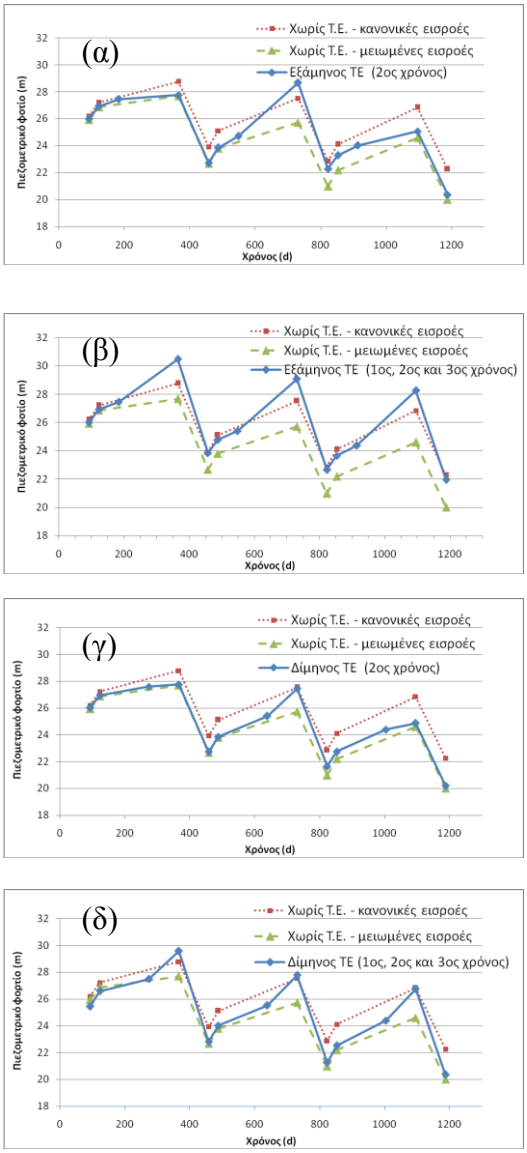
Στο Σχήμα 5γ παρουσιάζεται η επίδραση του δίμηνου εμπλουτισμού (Απρίλιο και Μάιο) κατά το δεύτερο έτος της προσομοίωσης. Στο τέλος της προσομοίωσης το φορτίο βρίσκεται στα επίπεδα του σεναρίου των μειωμένων πλευρικών εισροών χωρίς τεχνητό εμπλουτισμό. Η επίδραση του τεχνητού εμπλουτισμού κράτησε ένα υδρολογικό έτος.

Στο Σχήμα 5δ όπου παρουσιάζεται η εφαρμογή του δίμηνου εμπλουτισμού και στα τρία χρόνια της προσομοίωσης, φαίνεται ότι αυτός έχει επίδραση σε όλη τη διάρκεια της προσομοίωσης. Στο δίμηνο όπου αυτός εφαρμόζεται, το φορτίο φτάνει περίπου εκείνο που αντιστοιχεί στο βασικό σενάριο με τις κανονικές εισροές και χωρίς τεχνητό εμπλουτισμό, ενώ στην υπόλοιπη διάρκεια είναι λίγο πιο ψηλά από το φορτίο του σεναρίου με τις μειωμένες εισροές.

Από τις παραπάνω εφαρμογές παρατηρείται ότι η επίδραση του **εξάμηνου** τεχνητού εμπλουτισμού είναι σημαντική στο μεγαλύτερο τμήμα του υδροφορέα κατά το έτος εφαρμογής του εμπλουτισμού. Όταν ο τεχνητός εμπλουτισμός εφαρμόζεται συνεχόμενα έτη, η πιεζομετρική στάθμη

διατηρείται διαρκώς σε υψηλά επίπεδα.

Η εφαρμογή **δίμηνου** τεχνητού εμπλουτισμού έχει καλύτερο αποτέλεσμα στην περιοχή όταν γίνεται επί τρία συνεχόμενη έτη καθώς η ποσότητα του νερού εμπλουτισμού που εισέρχεται στον υδροφορέα το διάστημα αυτό, είναι μικρή σε σχέση με εκείνη που απομακρύνεται με τις αντλήσεις. Κατά το χρόνο εφαρμογής του εμπλουτισμού, το φορτίο πλησιάζει εκείνο του σεναρίου με τις κανονικές εισροές, ενώ κατά τις περιόδους των αντλήσεων δεν κατεβαίνει στα επίπεδα του σεναρίου με τις μειωμένες εισροές.



Σχήμα 5. Μεταβολή του πιεζομετρικού φορτίου με το χρόνο στο κελί (109,75) του καννάβου.

Από την εκτέλεση των σεναρίων **τρίμηνου** τεχνητού εμπλουτισμού προέκυψαν τιμές πιεζομετρικού φορτίου οι οποίες κυμαίνονται μεταξύ εκείνων που αντιστοιχούν στα αντίστοιχα σενάρια του εξάμηνου και του δίμηνου τεχνητού εμπλουτισμού.

Τέλος, σε ότι αφορά τον **μηνιαίο** τεχνητό εμπλουτισμό, βρέθηκε ότι αυτός δεν είναι ασήμαντος παρόλο που η ποσότητα του νερού εμπλουτισμού είναι μικρή. Κατά τη διάρκεια του τεχνητού εμπλουτισμού το πιεζομετρικό φορτίο τείνει να πλησιάσει εκείνο του σεναρίου με τις κανονικές εισροές και μετά το τέλος των αντλήσεων βρίσκεται να είναι ελάχιστα πιο ψηλά από εκείνο του σεναρίου με τις μειωμένες εισροές και χωρίς τεχνητό εμπλουτισμό του υδροφορέα.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στο τέλος της προσομοίωσης των 3 ετών (t=1188d), μόνο σε ορισμένα σενάρια του εξάμηνου τεχνητού εμπλουτισμού το πιεζομετρικό φορτίο προσεγγίζει το αντίστοιχο του σεναρίου χωρίς τεχνητό εμπλουτισμό αλλά με κανονική πλευρική εισροή νερού στον υδροφορέα. Στα υπόλοιπα το πιεζομετρικό φορτίο βρίσκεται στα επίπεδα του βασικού σεναρίου με τη μειωμένη πλευρική εισροή στον υδροφορέα.

Γενικά, στα έτη κατά τα οποία δεν εφαρμόζεται εμπλουτισμός, παρατηρείται σημαντική πτώση της πιεζομετρικής στάθμης, η οποία στο τέλος της περιόδου των αντλήσεων πλησιάζει εκείνη του σεναρίου με τις μειωμένες εισροές χωρίς τεχνητό εμπλουτισμό.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Βαφειάδης, Π., Πανώρας, Α., και Αναγνωστόπουλος, Κ., 1994. ¨Πείραμα τεχνητού εμπλουτισμού των υδροφόρων στρωμάτων της περιοχής Πετραίας Ν. Πέλλης με τη χρήση αρδευτικής γεώτρησης¨. Πρακτικά 7ου συνεδρίου της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας με έμφαση στη Γεωλογία της Μακεδονίας και Θράκης. Θεσσαλονίκη, 25-27/5/1994.

Βαφειάδης, Π., και Πανώρας, Α., 1996α. ¨Διερεύνηση εφαρμογής τεχνητού εμπλουτισμού με τη μέθοδο της υπόγειας διήθησης σε ηφαιστειοιζηματογενή υδροφορέα της περιοχής Ριζού Ν. Πέλλης¨. 2ο Πανελλήνιο Συνέδριο ΓΕΩΤΕΕ με θέμα ¨Εγγειοβελτιωτικά Έργα-Διαχείριση Υδατικών Πόρων-Εκμηχάνιση Γεωργίας.¨ Λάρισα, 24-27 Απριλίου 1996.

Βαφειάδης, Π., και Πανώρας, Α., 1996β. ¨Εφαρμογή τεχνητού εμπλουτισμού των υδροφόρων στρωμάτων στην περιοχή Ριζού – Πετριάς – Αρσενίου Ν. Πέλλας¨ - Τελική Έκθεση (Φορέας εκπόνησης: ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε, Νοέμβριος 1996).

Πανώρας, Α., και Βαφειάδης, Π., 1999. ¨Εφαρμογές τεχνητού εμπλουτισμού των υδροφόρων στρωμάτων του Νομού Πέλλας¨. Πρακτικά Ημερίδας της Ελληνικής Επιτροπής Υδρογεωλογίας με θέμα ¨Τεχνητός εμπλουτισμός υπόγειων υδροφορέων¨. Ξάνθη, 28/5/1999, σελ. 154-160.

Ράπτη, Δ., 1996. ¨Υδρογεωλογικές έρευνες στην περιοχή Σκύδρας – Επισκοπής (Κεντρική Μακεδονία)¨. Διδακτορική Διατριβή, Θεσσαλονίκη.

McDonald, M.G., and Harbaugh, A.W., 1988. ¨A modular three-dimensional finite-difference ground-water flow model¨, Techniques of Water-Resources Investigations 06-A1, USGS, pp.576.

U.S.G.S. MODFLOW-2005, The US Geological Survey Modular Ground-Water Flow Process, Chapter 16 of Book 6, ModelingTechniques, Section A. Ground Water.

ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΗ ΔΙΗΘΗΣΗ ΜΕ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΙΚΡΟΥ ΣΤΑΘΕΡΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ ΣΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ

Α. Αγγελάκη[1], Σ. Κωνσταντάκος[1], Φ. Καψοσιδέρης[1], Μ. Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη[1]
[1]Εργαστήριο Γεωργικής Υδραυλικής, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής & Αγροτικού Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Πραγματοποιήθηκε προσομοίωση συνθηκών άρδευσης με εφαρμογή μικρού σταθερού φορτίου στην επιφάνεια του εδάφους στο εργαστήριο, ώστε να διερευνηθεί η αθροιστική διήθηση και οι υδροδυναμικές παράμετροι στην ακόρεστη ροή. Χρησιμοποιήθηκε ομογενοποιημένη εδαφική στήλη, για την οποία είχε προηγηθεί μηχανική ανάλυση (το έδαφος χαρακτηρίστηκε πηλώδης άμμος) καθώς και υπολογισμός της υδραυλικής αγωγιμότητας κορεσμού. Στη συνέχεια μελετήθηκε η αθροιστική διήθηση τόσο ογκομετρικά, όσο και με τη μέθοδο TDR, με εφαρμογή μικρού σταθερού φορτίου νερού στην επιφάνεια του εδάφους. Από τις μετρήσεις προέκυψε η καμπύλη αθροιστικής διήθησης σε συνάρτηση με το χρόνο και εξήχθη εξίσωση αθροιστικής διήθησης που προσομοιώνει τα πειραματικά σημεία. Επίσης, προσδιορίστηκαν οι τιμές της εδαφικής υγρασίας σε συνάρτηση με το χρόνο καθώς και τα μέτωπα εδαφικής υγρασίας. Τέλος εκτιμήθηκε η απορροφητικότητα του εδάφους καθώς και η παράμετρος Α της εξίσωσης του Philip.

Λέξεις Κλειδιά: Υδροδυναμικές παράμετροι εδάφους, Αθροιστική διήθηση νερού, απορροφητικότητα εδάφους

CUMULATIVE INFILTRATION UNDER CONSTANT HEAD BOUNDARY CONDITION

[1]Laboratory of Agricultural Hydraulics, Department of Agriculture Crop Production and Rural Environment, University of Thessaly, Fytokou Street, N. Ionia, GR-38446, Volos, Greece
anaggel@uth.gr , msak@uth.gr

Cumulative infiltration under constant boundary condition was obtained in the laboratory, in order to investigate hydraulic parameters at vadose zone of a soil column (Loamy Sand). Hydraulic Conductivity at saturation was estimated, while cumulative infiltration data was collected both ways: volumetrically and using TDR probes at specific depths. Experimental data were used in order to design the cumulative infiltration curve. Experimental points were simulated by a 3rd-degree polynomial. Soil moisture profiles and soil moisture versus time were conceived, while soil Soptivity and Philip's equation A parameter were estimated.

Key words: Hydraulic parameters, Cumulative infiltration, soil sorptivity

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η διήθηση είναι μία πολύ σημαντική διαδικασία κατά τη διάρκεια της άρδευσης, γιατί από αυτήν εξαρτάται το ποσό του αρδευτικού νερού που θα εισέλθει στο έδαφος. Η μελέτη της κίνησης του νερού στο έδαφος, προαπαιτεί τη χρήση παραμέτρων και μεταβλητών, ώστε να είναι δυνατή η περιγραφή του φαινομένου από μαθηματική άποψη.

Αθροιστική διήθηση (cumulative infiltration *I*), είναι το ολοκλήρωμα της στιγμιαίας διηθητικότητας (ή ταχύτητας διήθησης) ως προς το χρόνο:

$$I = \int idt \qquad (1)$$

Η αθροιστική διήθηση I ορίζεται και ως το ολοκλήρωμα ως προς το βάθος της εδαφικής υγρασίας θ(z,t):

$$I = \int_0^z (\theta - \theta_i) dz \qquad (2)$$

όπου θ(z,t) είναι η εδαφική υγρασία στο χρόνο *t* και θ_i είναι η αρχική υγρασία του εδάφους . Η ταχύτητα διήθησης ή στιγμιαία διηθητικότητα ή απλώς διηθητικότητα δίνεται από τη σχέση *i = dI/dt*. Στην περίπτωση της κατακόρυφης διήθησης τα όρια των μεταβλητών *I(t)* και *i(t)* είναι:

$$\lim_{t\to 0} I(t) = 0 \qquad \lim_{t\to\infty} I(t) = \infty \qquad (3)$$

$$\lim_{t\to 0} i(t) = \infty, \qquad \lim_{t\to\infty} i(t) = K_s \qquad (4)$$

όπου K_S είναι η υδραυλική αγωγιμότητα κορεσμού, δηλαδή η υδραυλική αγωγιμότητα που αντιστοιχεί στην υγρασία κορεσμού $\theta = \theta_S$.

Η αθροιστική διήθηση είναι συνάρτηση του χρόνου και η κλίση της μειώνεται προοδευτικά με το χρόνο και τείνει σε μία σταθερή τιμή. Η φυσική σημασία της αθροιστικής διήθησης είναι ότι εκφράζει αθροιστικά την ποσότητα του νερού που έχει περάσει σε μια δεδομένη χρονική στιγμή από την επιφάνεια του εδάφους.

Οι καμπύλες *i(t)* και *I(t)* είναι μεγάλης σημασίας για τις αρδεύσεις, γιατί από αυτές μπορεί να καθοριστεί τόσο ο ρυθμός εφαρμογής του νερού, όσο και η διάρκεια της άρδευσης.

Η απορροφητικότητα (sorptivity *S*) του εδάφους, είναι το φυσικό χαρακτηριστικό που έχει το έδαφος να συγκρατεί το νερό εξαιτίας των τριχοειδών δυνάμεων και είναι συνάρτηση της αρχικής υγρασίας του εδάφους και της εφαρμοζόμενης οριακής συνθήκης.

Ο όρος απορροφητικότητα (Sorptivity) δόθηκε από τον Philip (Philip 1958, 1969), ως μια παράμετρος της εξίσωσης διήθησης που εξήγαγε από τα προφίλ υγρασίας και δίνεται από τη σχέση:

$$S^2 = 2K_s(\theta_1 - \theta_0)(H_0 - H_f) \quad (5)$$

όπου K_s είναι η κορεσμένη υδραυλική αγωγιμότητα, θ_o είναι η αρχική υγρασία του εδάφους, θ_1 είναι η εφαρμοζόμενη οριακή συνθήκη, H_o είναι το μέτωπο πίεσης στην επιφάνεια του εδάφους (δηλαδή το ύψος του νερού στην επιφάνεια του εδάφους) και H_f είναι η ενεργός μύζηση στο υγρό μέτωπο.

Πειραματικά, η απορροφητικότητα μπορεί να υπολογιστεί χρησιμοποιώντας τη σχέση (Philip 1969, Sakellariou-Makrantonaki 2002):

$$I = St^{1/2} \quad (6)$$

Ο Philip (1957) περιέγραψε την κατακόρυφη διήθηση με τις εξής δύο διπαραμετρικές εξισώσεις:

$$I(t) = St^{1/2} + At \quad (7)$$

$$i(t) = \frac{1}{2}St^{-1/2} + A \quad (8)$$

Η εξίσωση (8) είναι η αντίστοιχη εξίσωση της στιγμιαίας διηθητικότητας. Οι δύο παράμετροι είναι η απορροφητικότητα S [LT-1/2] και η παράμετρος A [L/T], η οποία βρέθηκε ότι πρέπει να είναι μεταξύ των ορίων: Ks/3<A<2Ks/3 (Αντωνόπουλος, 1999). Η εξίσωση (7) ισχύει για μικρούς χρόνους διότι για t→∞ είναι $i(t) \approx A \neq K_s$

Οι παράμετροι S και A μπορούν να προσδιοριστούν με διάφορους τρόπους. Ο Philip έχει ασχοληθεί επανειλημμένα με τη φυσική του φαινομένου της διήθησης και γενικότερα με την κίνηση του νερού στο έδαφος (Philip, 1973, 1983).

Σύμφωνα με τον Bouwer (1978) η απορροφητικότητα εξαρτάται από δύο παράγοντες: τη δομή του εδάφους και την αρχική περιεχόμενη στο έδαφος υγρασία.

Η απορροφητικότητα μπορεί επίσης να υπολογιστεί από τη σχέση (Vauclin et Haverkamp, 1985):

$$S^2 = 2\int_{\theta_i}^{\theta_s} \theta \cdot D(\theta) d\theta \quad (9)$$

η οποία αποτελεί πρώτης τάξης προσέγγιση, ή από τη βέλτιστη (optimum) λύση του Parlange (1975):

$$S^2 = \int_{\theta_i}^{\theta_s} (1+\theta) \cdot D(\theta) d\theta \quad (10)$$

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Κατά την πειραματική διαδικασία:

- Έγινε μηχανική ανάλυση του εδάφους, από την οποία το έδαφος χαρακτηρίστηκε πηλώδης άμμος.
- Σχεδιάστηκε η κοκκομετρική καμπύλη του εδάφους
- Μετρήθηκε η υδραυλική αγωγιμότητα κορεσμού (K_s) με τη μέθοδο του σταθερού φορτίου
- Μελετήθηκε πειραματικά η αθροιστική διήθηση του νερού σε κατακόρυφη ομογενοποιημένη στήλη εδάφους, με εφαρμογή λεπτού μικρού φορτίου νερού στην επιφάνεια του εδάφους.

Οι εισερχόμενοι όγκοι νερού προσδιορίστηκαν ογκομετρικά και χρησιμοποιήθηκε ταυτόχρονα για τη μέτρηση της εδαφικής υγρασίας σε διάφορα βάθη της εδαφικής στήλης, η μέθοδος TDR (Time Domain Reflectometry). Τοποθετήθηκαν 5 αισθητήρες TDR σε αποστάσεις 7,5 cm, 22.5 cm, 32,5 cm , 42,5 cm και 52,5 cm. Σημειώνεται εδώ ότι για άγνωστο λόγο, ο τελευταίος αισθητήρας (5ος) δεν κατέγραψε την εδαφική υγρασία στο λογισμικό της συσκευής.

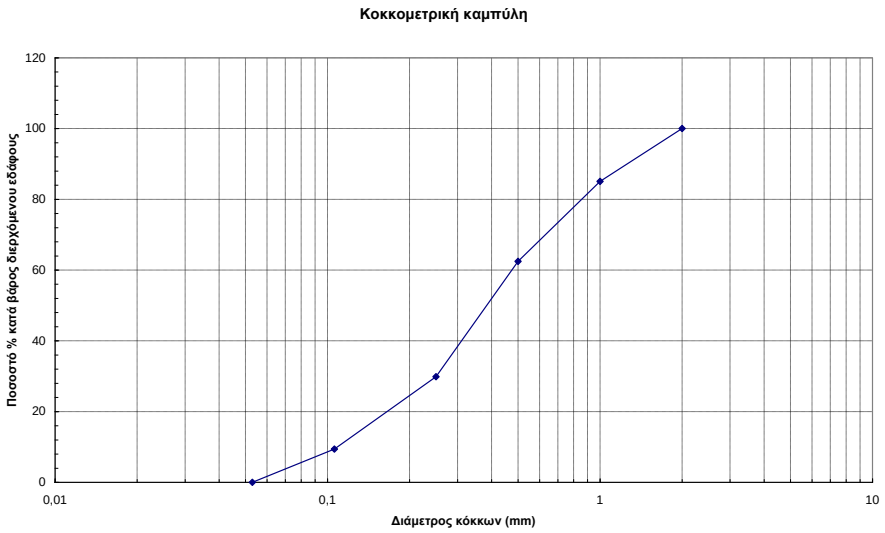
Η πειραματική διάταξη εικονίζεται στο Σχ. 1

Σχ. 1. Πειραματική διάταξη για τη μελέτη αθροιστικής διήθησης

3. ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ-ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

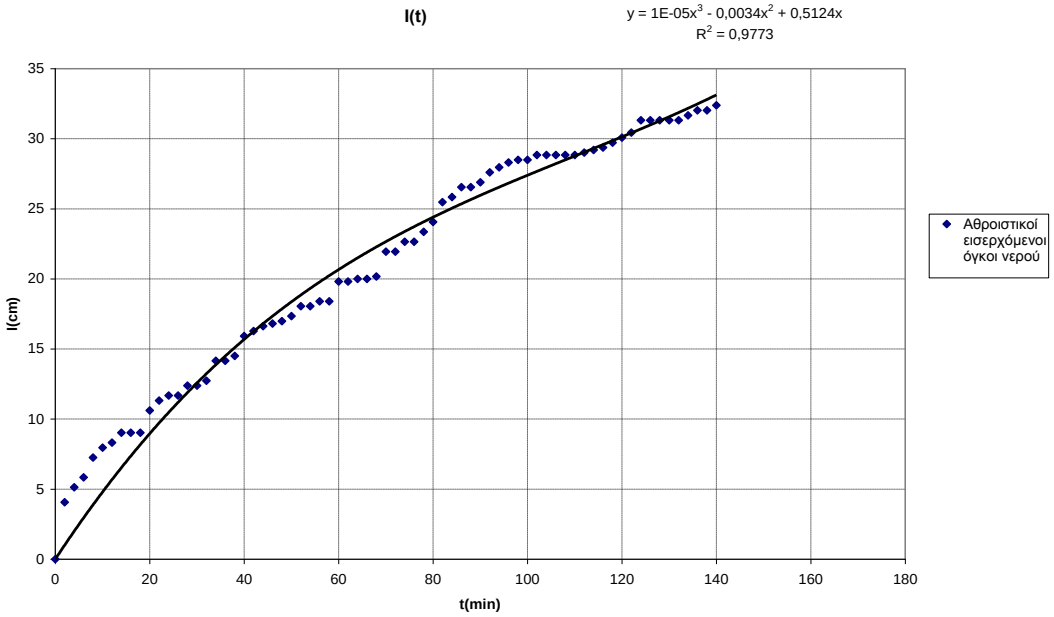
Κατά την πειραματική διαδικασία χρησιμοποιήθηκε εδαφικό δείγμα με το οποίο πληρώθηκε στήλη από πλέξιγκλας εσωτερικής διαμέτρου 6 cm. Για την πλήρωση της στήλης εφαρμόστηκε ειδική μέθοδος, που να εξασφαλίζει την ομοιογένεια του εδάφους (Σακελλαρίου 1986, 1997). Από τη μηχανική ανάλυση του δείγματος το έδαφος χαρακτηρίστηκε ως πηλώδης άμμος και στη συνέχεια σχεδιάστηκε η κοκκομετρική καμπύλη σε ημιλογαριθμική κλίμακα (Σχ.2).

Η υδραυλική αγωγιμότητα κορεσμού μετρήθηκε με τη μέθοδο σταθερού φορτίου και βρέθηκε K_s = 0,21 cm/min.



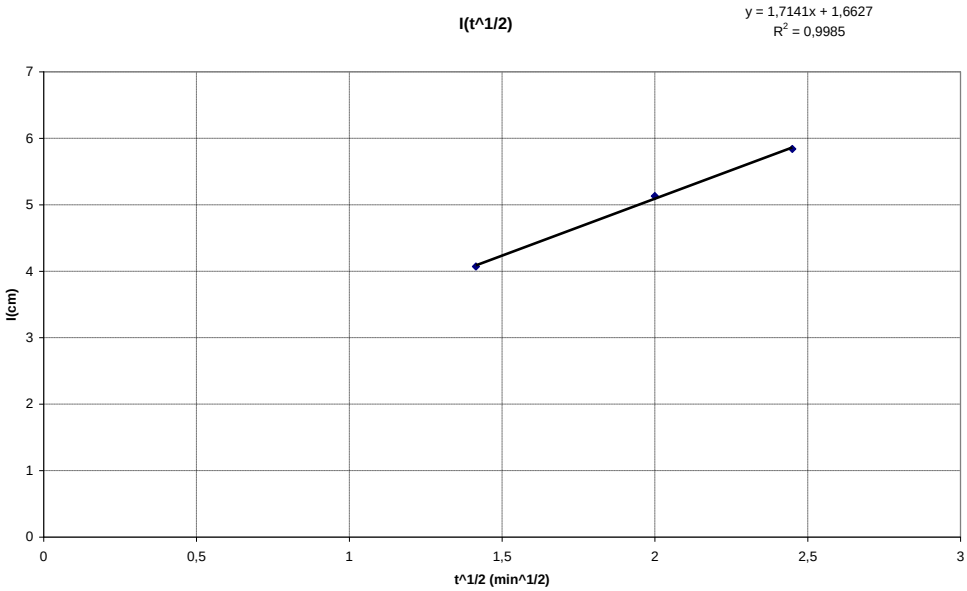
Σχ. 2. Κοκκομετρική καμπύλη εδαφικού δείγματος

Στη συνέχεια, μελετήθηκε πειραματικά η αθροιστική διήθηση του νερού και τα μέτωπα υγρασίας στο εδαφικό δείγμα, εφαρμόζοντας μικρό φορτίο νερού (~ 2 mm) στην επιφάνεια του εδάφους και σημειώθηκαν οι αθροιστικοί εισερχόμενοι όγκοι νερού. Ταυτόχρονα, οι αισθητήρες TDR καταμετρούσαν την υγρασία σε διάφορα βάθη (Angelaki, 2004). Από τις μετρήσεις προέκυψε η καμπύλη αθροιστικής διήθησης σε συνάρτηση με το χρόνο *I(t)*, η οποία απεικονίζεται στο Σχ. 3 και η οποία προσομοιώθηκε με πολυώνυμο 3ου βαθμού (εξίσωση 9).



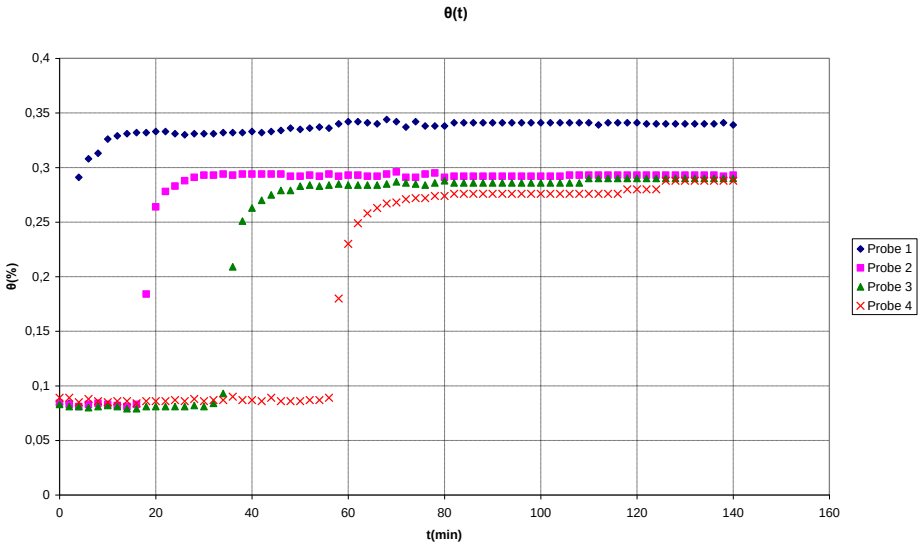
Σχ. 3. Αθροιστική διήθηση σε συνάρτηση με το χρόνο (ογκομετρικά)
$I = 1E\text{-}05t^3 - 0{,}0034t^2 + 0{,}5124t$, $R^2 = 0{,}9773$ (9)

Για τους αρχικούς χρόνους διήθησης, όταν δεν έχουν δράσει οι δυνάμεις βαρύτητας, παρά μόνο οι τριχοειδείς δυνάμεις, μπορεί να εκτιμηθεί η απορροφητικότητα του εδάφους (Αγγελάκη, 2004, Angelaki, 2013). Έτσι, για τους αρχικούς χρόνους διήθησης, σχεδιάστηκε η γραφική παράσταση της αθροιστικής διήθησης σε συνάρτηση με την τετραγωνική ρίζα του χρόνου (Σχ. 4), από την κλίση της οποίας υπολογίστηκε η απορροφητικότητα του εδάφους, ίση με S = 1,7141 cm/min$^{1/2}$. Χρησιμοποιώντας την τιμή απορροφητικότητας που υπολογίστηκε γραφικά, και χρησιμοποιώντας την εξίσωση (7) του Philip, υπολογίστηκε η παράμετρος A της εξίσωσης ίση με A = 0,1316 cm/min, για την οποία ισχύει $K_s/3<A<2K_s/3$ (καθώς για K_s = 0,21 cm/min είναι: $K_s/3$ = 0,07 cm/min και $2K_s/3$=0,14 cm/min).



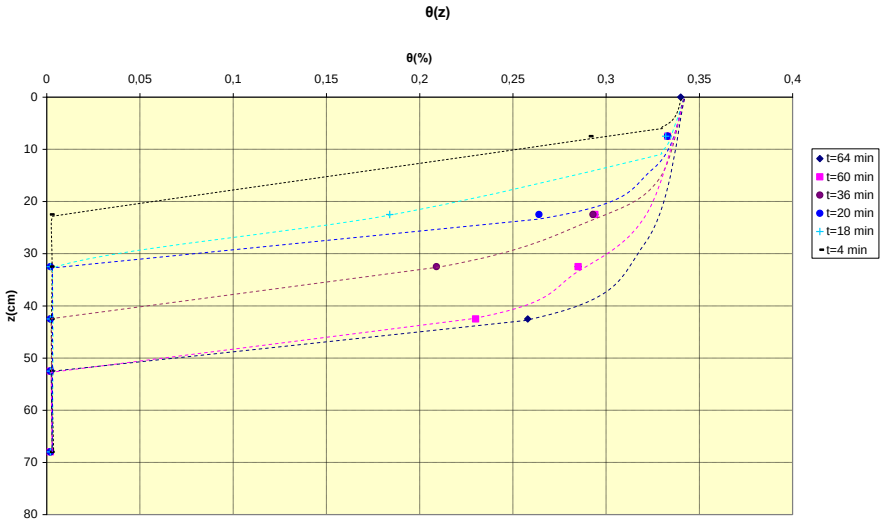
Σχ. 4. Αθροιστική διήθηση σε συνάρτηση με την τετραγωνική ρίζα του χρόνου.

Κατά την πειραματική διαδικασία της αθροιστικής διήθησης, η εδαφική υγρασία μετρήθηκε καθ' όλη τη διάρκεια του φαινομένου, σε διάφορα βάθη της εδαφικής στήλης (7,5 cm, 22.5 cm, 32,5 cm , 42,5 cm). Οι μετρήσεις υγρασίας σε συνάρτηση με το χρόνο δίνονται στο Σχ. 5.



Σχ. 5. Εδαφική υγρασία των τεσσάρων αισθητήρων TDR σε συνάρτηση με το χρόνο.

Στο Σχ. 6 παρουσιάζονται τα μέτωπα υγρασίας, δηλαδή η εδαφική κατ' όγκο υγρασία, όπως μετρήθηκε από τους αισθητήρες TDR σε συνάρτηση με το βάθος.



Σχ. 6. Μέτωπα υγρασίας**.**

3. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Μελετήθηκε πειραματικά η αθροιστική διήθηση, όταν εφαρμόζεται μικρό σταθερό φορτίο νερού στην επιφάνεια εδαφικής στήλης, καταγράφοντας τους εισερχόμενους όγκους νερού, αλλά και καταγράφοντας μέσω συσκευής TDR την εδαφική υγρασία σε διάφορα βάθη. Οι πειραματικές μετρήσεις χρησιμοποιήθηκαν για να σχεδιαστεί η καμπύλη αθροιστικής διήθησης. Τα πειραματικά σημεία της αθροιστικής διήθησης προσομοιώθηκαν με πολυωνυμική εξίσωση 3ου βαθμού. Επίσης εκτιμήθηκε η απορροφητικότητα του εδάφους και σχεδιάστηκαν τα μέτωπα υγρασίας. Τέλος, υπολογίστηκε η παράμετρος Α της εξίσωσης αθροιστικής διήθησης του Philip. Όλα τα παραπάνω αποτελούν πολύτιμα εργαλεία για περαιτέρω έρευνα των υδροδυναμικών παραμέτρων, αλλά και για τον προγραμματισμό της άρδευσης.

4. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

A. Angelaki, M. Sakellariou – Makrantonaki, C. Tzimopoulos, 2013, "Theoretical and experimental research of cumulative infiltration", Transport in Porous Media (in press).

A. Angelaki, M. Sakellariou – Makrantonaki, C. Tzimopoulos, 2004, «Laboratory experiments and estimation of cumulative infiltration and sorptivity», Water, Air and Soil Pollution: Focus (WAFO) entitled: "Protection and Restoration of the Environment", Kluwer Academic Publishers, 4: 241 – 251.

Αγγελάκη 2004. Διερεύνηση των υδροδυναμικών παραμέτρων σε ακόρεστη ροή με πειραματικές μεθόδους και μαθηματικά μοντέλα. Διδακτορική Διατριβή, Π.Θ. σελ. 239.

Αντωνόπουλος Β., 1999. Υδρολογία της ακόρεστης ζώνης του εδάφους. Θεσσαλονίκη, 1999, σελ. 264.

Bouwer H. 1976. Infiltration into increasingly permeable soils. J. Irrigation and Drainage Div., ASCE, (102): 127 – 136.

Parlange J. – Y., 1975. A note of the Green & Ampt equation. Soil Sci. Vol 119, pp. 466 – 467.

Philip J.R. 1957a. Theory of infiltration: 1. The infiltration equation and its solution. Soil. Science (83): 435 – 448.

Philip J.R. 1957b. Theory of infiltration: 4. Sorptivity and algebraic infiltration equations. Soil. Science (84): 257 – 264.

Philip J.R. 1957c. Numerical solution of equations of the diffusion type with diffusivity concentration – dependent. II. Austr. J. Physics (10): 29 – 42.

Philip J.R. 1958. Theory of infiltration: 6. Effect of water depth over soil. Soil. Science (85): 278 – 286.

Philip J.R. 1969. Theory of infiltration. Advances in Hydrosciences. New York: Academic Press (5): 215 – 296.

Philip J.R. 1973. On solving the unsaturated flow equation: 1. The flux – concentration relation. Soil Science (116): 328 – 335.

Philip J.R. 1983. Theory of infiltration.. Advances in infiltration, Proceedings of the National Conference on advances in infiltration, December 12 – 13 Chicago, Illinois: 1 – 13.

Σακελλαρίου – Μακραντωνάκη, Μ., 1986. Επίδραση των υδροδυναμικών παραμέτρων διήθησης – στράγγισης σε προβλήματα αρδεύσεων. Διδακτορική Διατριβή Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη, σελ. 215.

Σακελλαρίου – Μακραντωνάκη, Μ., Τζιμόπουλος Χ., Καλφούντζος Δ., 1997. Μέτρηση της εδαφικής υγρασίας με τη μέθοδο TDR και στατιστική επεξεργασία των μετρήσεων. Πρακτικά 7ου Πανελλήνιου Συνεδρίου Ε.Υ.Ε., 14 – 18 Οκτωβρίου 1997, Πάτρα, σελ. 184 – 192.

Sakellariou – Makrantonaki, M., 1997. Water drainage in layered soils, Laboratory experiments and numerical simulation. Water Resour. Managm., (11): 437 – 444.

M. Sakellariou – Makrantonaki, A. Angelaki, C. Tzimopoulos «Study of the Cumulative Infiltration of water in a soil sample», 2002, Skiathos Island, Greece, 6th International Conference on the Protection and Restoration of the Environment, pp. 521 – 527

Vauclin M., Haverkamp R., 1985. Solutions quasi analytiques de l' équation d' absorption de l' eau par les sols non saturés. I. Analyse critique. Agronomie, 5 (7), pp. 597-606.

ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ ΕΔΑΦΙΚΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΓΕΝΕΤΙΚΩΝ ΑΛΓΟΡΙΘΜΩΝ ΚΑΙ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΤΟΥ ΥΔΑΤΙΚΟΥ ΙΣΟΖΥΓΙΟΥ

Χαράλαμπος Παρασκευάς[1,*], Δημήτριος Καρπούζος[1], Ανδρέας Ηλίας[2], Χρήστος Μπαμπατζιμόπουλος[1]
[1]Τομέας Εγγείων Βελτιώσεων, Εδαφολογίας και Γεωργικής Μηχανικής, Γεωπονική Σχολή, Α.Π.Θ., 54124, Θεσσαλονίκη
[2]Ινστιτούτο Εγγείων Βελτιώσεων, Ελληνικός Γεωργικός Οργανισμός "Δήμητρα", 57400, Σίνδος
* paraskevasb@gmail.com

Στην εργασία αυτή γίνεται η βαθμονόμηση ενός αισθητήρα μέτρησης της εδαφικής υγρασίας τεχνολογίας FDR σε ένα λυσίμετρο με τη συνδυασμένη χρήση της κλασικής μεθόδου βαθμονόμησης καθώς και μίας διαδικασίας βελτιστοποίησης με χρήση γενετικών αλγορίθμων και του υδατικού ισοζυγίου. Ο αισθητήρας που χρησιμοποιείται είναι ο Diviner 2000 της εταιρείας Sentek. Η χρήση του παραπάνω αισθητήρα υγρασίας απαιτεί τοπική βαθμονόμηση στο έδαφος που είναι εγκατεστημένος. Η τυπική διαδικασία βαθμονόμησης (που προτείνεται και από τον κατασκευαστή) είναι επίπονη και καταστροφική για το έδαφος στο οποίο πρόκειται να χρησιμοποιηθεί και βασίζεται στη λήψη δειγμάτων και τον βαρυμετρικό υπολογισμό της εδαφικής υγρασίας. Ενδέχεται όμως, μια τέτοια τοπική βαθμονόμηση να μη δίνει αξιόπιστα αποτελέσματα κυρίως λόγω τοπικών διαφοροποιήσεων του εδαφικού προφίλ. Στην περίπτωση αυτή συχνά επιλέγονται παραπλήσιοι με την τυπική βαθμονόμηση τρόποι βαθμονόμησης που διαφέρουν από την προτεινόμενη διαδικασία βαθμονόμησης. Η μέθοδος που χρησιμοποιείται στην εργασία αυτή συνδυάζει τη μέθοδο του υδατικού ισοζυγίου, λαμβάνοντας υπόψη εισροές-εκροές νερού στο έδαφος (άρδευση, βροχή, εξατμισοδιαπνοή) και τη βελτιστοποίηση με χρήση γενετικών αλγορίθμων. Μέσω της βελτιστοποίησης αυτής υπολογίζονται οι βέλτιστες τιμές των παραμέτρων της εξίσωσης βαθμονόμησης οι οποίες θα ικανοποιούν το ισοζύγιο νερού στην περιοχή του αισθητήρα.

Λέξεις κλειδιά: βελτιστοποίηση, γενετικοί αλγόριθμοι, Diviner 2000, αισθητήρες εδαφικής υγρασίας, μέθοδος υδατικού ισοζυγίου

CALIBRATION OF A SOIL WATER SENSOR USING GENETIC ALGORITMHS AND WATER BALANCE METHOD

Charalampos Paraskevas[1,*], Dimitrios Karpouzos[1], Andreas Ilias[2], Christos Babajimopoulos[1]
[1]Department of Hydraulics, Soil Science and Agricultural Engineering, School of Agriculture, A.U.Th., 54124, Thessaloniki
[2]Land Reclamation Institute, Hellenic Agricultural Organization "Demetra", 57400 Sindos,
* paraskevasb@gmail.com

This paper presents the calibration of a FDR soil water sensor in a lysimeter using genetic algorithms and the water balance method. The sensor is the Diviner 2000 by Sentek Pty. The use of the sensor requires a local calibration for specific soil each time. The typical calibration procedure of the sensor is painstaking and destructive to the soil as it is based on the gravimetrically soil water sampling. However, the expected results of such a local calibration may be pointless mainly due to local variations of the soil profile. In this case alternative calibration methods are chosen. These calibration methods may differ considerably from the proposed calibration procedure. The method used in this work combines the water balance method with the optimization using genetic algorithms. Using the genetic algorithm optimization the optimal values of the calibration equation were found in order to fulfill the water balance near the water sensor.

Key words: optimization, genetic algorithms, Diviner 2000, soil water sensors, water budget method

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο προγραμματισμός των αρδεύσεων απαιτεί την ακριβή μέτρηση της χωροχρονικής διακύμανσης της εδαφικής υγρασίας. Η μέτρηση αυτή μπορεί να γίνει με άμεσες ή έμμεσες μεθόδους. Οι έμμεσες μέθοδοι προσδιορίζουν την εδαφική υγρασία από μετρήσεις των φυσικών ιδιοτήτων του εδάφους οι οποίες συναρτώνται με αυτήν. Οι μετρήσεις αυτές γίνονται, είτε με μόνιμα τοποθετημένους στο έδαφος αισθητήρες, ή μέσω της κίνησης των αισθητήρων σε ειδικούς σωλήνες οι οποίοι τοποθετούνται μόνιμα στο έδαφος. Έτσι με τις μεθόδους αυτές καθίσταται δυνατή η λήψη διαδοχικών στο χρόνο μετρήσεων στην ίδια θέση πολύ σύντομα και χωρίς διατάραξη του εδάφους. Μια από τις πιο διαδομένες από τις έμμεσες μεθόδους είναι η μέθοδος της διηλεκτρικής σταθεράς. Υποκατηγορία της μεθόδου αυτής είναι και η μέθοδος FDR (Frequency-Domain Reflectometry) την οποία χρησιμοποιεί ο αισθητήρας Diviner 2000 της εταιρείας Sentek.

Η χρήση των αισθητήρων υγρασίας απαιτεί τοπική βαθμονόμηση για συγκεκριμένο έδαφος κάθε φορά. Οι κατασκευάστριες εταιρείες των αισθητήρων προτείνουν γενικές εξισώσεις βαθμονόμησης για κάθε όργανο οι οποίες προκύπτουν συνήθως από ένα πλήθος εδαφών. Για το Diviner 2000 αυτές προήλθαν από ένα μέσο όρο δειγμάτων τριών εδαφών (Sands, Loams, Clay Loams) δίνοντας

σχετικές και όχι ακριβείς μετρήσεις υγρασίας (Starr and Paltineanu, 1998, Leib et al., 2003).

Η προτεινόμενη από την εταιρεία διαδικασία βαθμονόμησης (Sentek, 2001) του Diviner 2000 είναι επίπονη αλλά κυρίως καταστροφική για τη δομή του εδάφους στο οποίο πρόκειται να χρησιμοποιηθούν. Αυτό οδήγησε τους επιστήμονες που ασχολήθηκαν με τους αισθητήρες υγρασίας της Sentek να αναζητήσουν άλλους παραπλήσιους εργαστηριακούς τρόπους ή λιγότερο καταστροφικούς για το έδαφος ή ακόμη να και να καταφύγουν στη χρησιμοποίηση κάποιας άλλης βιβλιογραφικής εξίσωσης βαθμονόμησης. Ενδεικτικά αναφέρονται οι εργασίες βαθμονόμησης για τους αισθητήρες της Sentek των Evett et al. (2002) και Gabriel et al. (2010).

Οι γενετικοί αλγόριθμοι αποτελούν μέλος της οικογένειας των μεθόδων τεχνητής νοημοσύνης και είναι στοχαστικοί αλγόριθμοι οι οποίοι προσομοιώνουν τη λειτουργία των φυσικών φαινόμενων όπως τη γενετική κληρονομικότητα καθώς και τη μάχη για επιβίωση σύμφωνα με τη Δαρβινική θεωρία (Michalewicz, 1994). Το πεδίο εφαρμογής των γενετικών αλγορίθμων στη διαχείριση των υδατικών πόρων είναι αρκετά εκτεταμένο (Katsifarakis and Karpouzos, 2012), σε σύνθετα προβλήματα βελτιστοποίησης (Karpouzos and Katsifarakis, 2013) και ειδικότερα στην επίλυση αντιστρόφων προβλημάτων (Karpouzos et al., 2001).

Ο σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν : i) η βαθμονόμηση του αισθητήρα Diviner 2000 με τη χρήση γενετικών αλγορίθμων και τη μέθοδο του υδατικού ισοζυγίου, καθώς και ii) η σύγκριση των αποτελεσμάτων αυτών με τις εξισώσεις που εξήχθησαν με τη βαθμονόμηση με τιμές υγρασίας που προήλθαν βαρυμετρικά από εδαφικά δείγματα.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1. Περιγραφή του αισθητήρα Diviner 2000

Το όργανο που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία είναι το Diviner 2000 της εταιρείας Sentek (2007). Ο αισθητήρας χρησιμοποιεί την τεχνολογία FDR για τον προσδιορισμό της εδαφικής υγρασίας και έχει συχνότητα λειτουργίας περίπου τα 100 MHz. Για την μέτρηση της υγρασίας προαπαιτείται η εγκατάσταση σωλήνων PVC στο έδαφος. Η κάθε μέτρηση γίνεται ανά 10 cm βάθους και η ακτίνα επιρροής έξω από το σωλήνα είναι 5 cm.

Η μετατροπή των μετρήσεων του οργάνου σε κατ' όγκο υγρασία γίνεται μέσω της Scaled Frequency (SF) του οργάνου η οποία δίνεται από τη σχέση :

$$SF = \frac{F_a - F_s}{F_a - F_w} \quad (1)$$

όπου: F_s ένδειξη οργάνου στο έδαφος, F_w ένδειξη οργάνου σε νερό 22 ^oC, F_a ένδειξη οργάνου στον αέρα (οι τιμές των F_w και F_a θεωρούνται σταθερές για κάθε αισθητήρα).

Η μετατροπή της Scaled Frequency σε μετρήσεις υγρασίας κατ' όγκο θ_v (%) γίνεται με τη σχέση :

$$SF = a\theta_v^b \Leftrightarrow \theta_v = A \cdot SF^B \quad (2)$$

όπου: a, b, A και B οι σταθερές βαθμονόμησης με $A=(1/a)^{1/b}$ και $B=1/b$.

Λόγω του γεγονότος ότι η μέτρηση του οργάνου αφορά ένα ύψος εδάφους 10 cm, οι τιμές της υγρασίας % αντιστοιχούν σε mm ισοδύναμου ύψους νερού.

2.2. Περιγραφή περιοχής μελέτης - Μετρήσεις

Ο πειραματικός αγρός περιείχε τρία λυσίμετρα ελεύθερης στράγγισης διαταραγμένου προφίλ, βάθους 90 cm και εμβαδού 4 m^2 το καθένα. Στον αγρό αυτό εγκαταστάθηκε σύστημα άρδευσης και καλλιέργεια βαμβακιού (*Gossypium hirsutum L.*). Τα λυσίμετρα αυτά βρίσκονται στη Σίνδο Θεσσαλονίκης και συγκεκριμένα στο Ινστιτούτο Εγγείων Βελτιώσεων του Ελληνικού Γεωργικού Οργανισμού "Δήμητρα". Η μηχανική σύσταση του εδάφους των τριών λυσίμετρων παρουσιάζει πολύ μικρές διαφορές, όπως φαίνεται και στον Πίνακα 1). Η μέτρηση της εδαφικής υγρασίας στα λυσίμετρα 1 και 3 γινόταν με το Diviner 2000, ενώ στο λυσίμετρο 2 με το EnviroScan (Sentek 2006). Το EnviroScan τεχνολογίας FDR αποτελείται από δέκα αισθητήρες παρόμοιους με αυτούς του Diviner 2000. Οι αισθητήρες αυτοί έχουν ίδια συχνότητα λειτουργίας με αυτή του Diviner 2000 και ήταν μόνιμα τοποθετημένοι στο έδαφος του λυσίμετρου 2. Η μέτρηση της υγρασίας γίνεται (όπως και στο Diviner 2000) ανά 10 cm βάθους και η ακτίνα επιρροής των αισθητήρων έξω από το σωλήνα είναι 5 cm. Το βήμα λήψης μετρήσεων ήταν μία ώρα.

Πίνακας 1. Μηχανική ανάλυση και φαινόμενο ειδικό βάρος ρ_b εδάφους λυσίμετρων

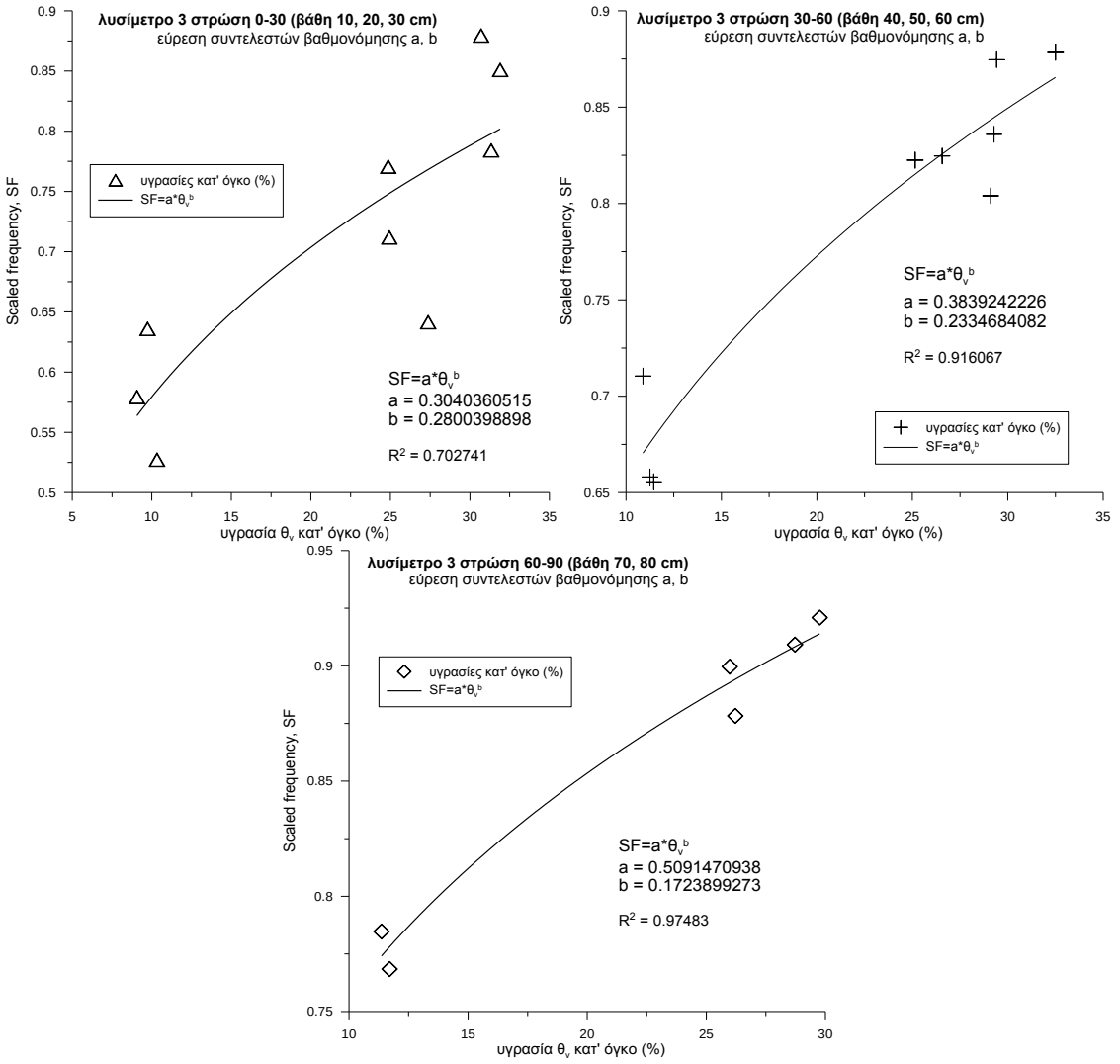
Λυσίμετρο / Αισθητήρας	Εδαφική στρώση (cm)	Άμμος	Ιλύς	Άργιλος	Χαρακτηρισμός	ρ_b (gr cm^{-3})
		(%)				
Λυσίμετρο 1 / Diviner 2000	0-30	31.2	40.8	28	Clay Loam (CL)	1.043
	30-60	35.6	38.4	26	Loam (L)	1.220
	60-90	43.2	32.4	24.4	Loam (L)	1.228
Λυσίμετρο 2 / EnviroScan	0-30	39.2	36	24.8	Loam (L)	1.083
	30-65	41.2	32	26.8	Loam (L)	1.296
	65-90	45.2	36	18.8	Loam (L)	1.112
Λυσίμετρο 3 / Diviner 2000	0-30	37.2	34.4	28.4	Clay Loam (CL)	1.134
	30-60	41.2	34.4	24.4	Loam (L)	1.186
	60-90	47.6	28	24.4	Loam (L)	1.239

Η προτεινόμενη από την εταιρεία κατασκευής των αισθητήρων υγρασίας βαθμονόμηση (Sentek 2001), θα ήταν αδύνατο να εφαρμοσθεί στο πειραματικό διότι θα ήταν καταστροφική για το έδαφος των λυσίμετρων. Για το λόγο αυτό προτιμήθηκε μια βαθμονόμηση παρόμοια με την προτεινόμενη από την εταιρεία κατασκευής των οργάνων και με γνώμονα την ελάχιστη δυνατή διαταραχή του εδαφικού προφίλ πλησίον του αισθητήρα. Σύμφωνα με αυτή, η λήψη δειγμάτων γινόταν περιφερειακά της θέσης μέτρησης και όχι εφαπτόμενα αυτής, διασφαλίζοντας έτσι την μη καταστροφή του όγκου εδάφους που εφάπτεται στον αισθητήρα. Έτσι, για τη βαθμονόμηση των οργάνων ελήφθησαν δείγματα για τον υπολογισμό της περιεχόμενης υγρασίας με τη βαρυμετρική μέθοδο σε τρεις υγρασιακές καταστάσεις (ξηρή, μέση και υγρή) και για όλα τα βάθη (10…80 cm). Τα δείγματα λαμβάνονταν περιμετρικά του σωλήνα υγρασίας σε ακτίνα 20-30 cm. Παράλληλα με τη λήψη των δειγμάτων γινόταν μέτρηση υγρασίας με τους αισθητήρες.

Ακολούθως, μέσω μιας παλινδρόμησης έγινε η συσχέτιση των μετρήσεων του αισθητήρα με τις τιμές υγρασίας που προκύπτουν βαρυμετρικά από τα εδαφικά δείγματα. Κατάληξη της συσχέτισης αυτής είναι η εύρεση των συντελεστών της Σχέσης (2), οι οποίοι είναι και το ζητούμενο κάθε βαθμονόμησης.

Η παραπάνω διαδικασία βαθμονόμησης ακολουθήθηκε και στα τρία λυσίμετρα. Συγκεκριμένα στα λυσίμετρα 1 και 2 είχε πολύ καλά αποτελέσματα παρουσιάζοντας υψηλούς συντελεστές προσδιορισμού (R^2>0.9). Οι συντελεστές αυτοί δοκιμάσθηκαν μέσω της Εξίσωσης (2) και του υδατικού ισοζυγίου των δύο λυσίμετρων δίνοντας πολύ καλή ποσοτική αποτύπωση των εισροών. Περισσότερες πληροφορίες για τα αποτελέσματα της παραπάνω βαθμονόμησης (λυσίμετρα 1 και 2) βρίσκονται στις εργασίες των Παρασκευάς κ.άλ. (2011) και Paraskevas et al. (2012).

Ανάλογη διαδικασία βαθμονόμησης με τα λυσίμετρα 1 και 2 ακολουθήθηκε στο λυσίμετρο 3. Τα αποτελέσματα της οποίας και για τις τρεις στρώσεις του λυσίμετρου 3 παρουσιάζονται στο Σχήμα 1 και στον Πίνακα 2.



Σχήμα 1. Εξαγωγή εξισώσεων βαθμονόμησης του λυσίμετρου 3 (για τις τρεις στρώσεις) κάνοντας χρήση των τιμών υγρασίας που πρόεκυψαν βαρυμετρικά από εδαφικά δείγματα μαζί με τους συντελεστές προσδιορισμού R^2 της συσχέτισης

Πίνακας 2. Συντελεστές εξίσωσης βαθμονόμησης λυσίμετρου 3 κάθε εδαφικής στρώσης κάνοντας χρήση των τιμών υγρασίας που πρόεκυψαν βαρυμετρικά από εδαφικά δείγματα μαζί με τους συντελεστές προσδιορισμού R^2 της συσχέτισης

0-30 (cm)		R^2	30-60 (cm)		R^2	60-90 (cm)		R^2
a=0.304	A=70.288	0.703	a=0.3839	A=60.346	0.916	a=0.5091	A=50.197	0.975
b=0.28	B=3.571		b=0.2335	B=4.283		b=0.1724	B=5.8	

Παρά το γεγονός πως ακολουθήθηκε η ίδια διαδικασία στο λυσίμετρο 3 τα αποτελέσματα της βαθμονόμησης στην επιφανειακή στρώση (0-30 cm) δεν θεωρήθηκαν ικανοποιητικά (R^2=0.703). Αυτό ενδέχεται να οφείλεται σε πιθανές τοπικές διαφοροποιήσεις του εδαφικού προφίλ ή στην αστοχία λήψης ενός αντιπροσωπευτικού δείγματος υγρασίας με αυτό του οργάνου. Αντίθετα στις υπόλοιπες στρώσεις (30-60 και 60-90 cm) τα αποτελέσματα της βαθμονόμησης είναι πολύ ικανοποιητικά (R^2>0.9). Η χαμηλή τιμή του συντελεστή προσδιορισμού αποτυπώνεται και στις μεγάλες αποκλίσεις που παρουσιάζει το υδατικό ισοζύγιο (κάνοντας χρήση των συντελεστών του Πίνακα 2) σε σχέση με τις εισροές. Η σπουδαιότητα αυτής της στρώσης λόγω του ότι παρουσιάζει τις μεγαλύτερες αυξομειώσεις στην περιεχόμενη υγρασία οδήγησε στην αναζήτηση ενός νέου βέλτιστου set παραμέτρων βαθμονόμησης για την επιφανειακή στρώση (0-30 cm) το οποίο θα ικανοποιεί το ισοζύγιο νερού στην περιοχή του αισθητήρα.

2.3. Βελτιστοποίηση με γενετικούς αλγόριθμους

Οι γενετικοί αλγόριθμοι στην εργασία αυτή χρησιμοποιούνται ως μέθοδος βελτιστοποίησης μέσω της οποίας επιχειρείται η επίλυση του αντίστροφου προβλήματος. Στην πρώτη γενιά ξεκινούν με ένα πληθυσμό τυχαίων ατόμων-λύσεων η εξέλιξη του οποίου γίνεται συνεχώς κατά τη διάρκεια της βελτιστοποίησης (επόμενες γενιές) με τη βοήθεια των γενετικών τελεστών και την αξιολόγηση των λύσεων βάσει της αντικειμενικής συνάρτησης.

Για τον προσδιορισμό της προς ελαχιστοποίηση αντικειμενικής συνάρτησης χρησιμοποιήθηκε η εξίσωση του υδατικού ισοζυγίου:

$$P+I-ET_c-\Delta\theta=0\Leftrightarrow$$
$$P^t+I^t-ET_c^t-\left(\int_0^L\theta(z,t+1)dz-\int_0^L\theta(z,t)dz\right)=0\Leftrightarrow \quad (3)$$
$$P^t+I^t-ET_c^t-\left(\theta_{(10)}^{t+1}+\theta_{(20)}^{t+1}+\theta_{(30)}^{t+1}-\theta_{(10)}^{t}-\theta_{(20)}^{t}-\right.$$
$$\left.-\theta_{(30)}^{t}+...+\theta_{(70)}^{t+1}+\theta_{(80)}^{t+1}-\theta_{(70)}^{t}-\theta_{(80)}^{t}\right)=0$$

όπου: P^t και I^t η βροχόπτωση και η άρδευση αντίστοιχα την ημέρα t, ET_c^t η πραγματική εξατμισοδιαπνοή (Penman-Monteith κατά FAO (Allen et al., 1998)) την ημέρα t, Δθ η μεταβολή της συνολικής υγρασίας σε όλο το εδαφικό προφίλ μεταξύ των ημερών t+1 και t, L το βάθος του λυσίμετρου, $\theta_{(10)}^{t+1}$ η μέτρηση του Diviner 2000 στο βάθος 10 cm την ημέρα t+1, $\theta_{(20)}^{t+1}$ η μέτρηση του στο βάθος των 20 cm την ημέρα t+1 κ.ό.κ. Όλες οι μονάδες των παραμέτρων της Εξίσωσης (3) είναι σε mm.

Αντικαθιστώντας στην Εξίσωση (3) τη σχέση (2) της βαθμονόμησης του οργάνου καταλήγουμε στην αντικειμενική συνάρτηση:

$$\sum_{t=1}^{n+1}\left(P^t+I^t-ET_c^t-A_1\left(SF_{10}^{t+1}\right)^{B_1}-...-A_3\left(SF_{80}^{t+1}\right)^{B_3}+\right.$$
$$\left.+A_1\left(SF_{10}^{t}\right)^{B_1}+...+A_3\left(SF_{80}^{t}\right)^{B_3}\right)^2\rightarrow 0 \quad (4)$$

όπου: SF_i^{t+1} και SF_i^t οι scaled frequencies τις ημέρες t+1 και t αντίστοιχα (i=10…80) και A_1, B_1, A_2, B_2, A_3, B_3 σταθερές βαθμονόμησης για τα βάθη 0-30, 30-60, 60-90 cm αντίστοιχα.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ

3.1. Βαθμονόμηση

Η ελαχιστοποίηση της αντικειμενικής συνάρτησης έγινε με τη μέθοδο των γενετικών αλγόριθμων. Ζητούμενο της ελαχιστοποίησης αυτής είναι οι συντελεστές A_1 και B_1 της πρώτης στρώσης 0-30 cm. Για τους συντελεστές A_2, B_2 και A_3, B_3 των επόμενων στρώσεων (30-60 και 60-90 cm) διατηρήθηκαν οι τιμές του Πίνακα 2 οι οποίες παρουσίαζαν πολύ υψηλό συντελεστή προσδιορισμού R^2.

Ως ελάχιστη και μέγιστη δυνατή τιμή των παραμέτρων A_1, B_1 στην κωδικοποίηση των λύσεων του γενετικού αλγορίθμου, πάρθηκαν οι τιμές 1, 1 και 100, 10 αντίστοιχα. Σύμφωνα με την ανασκόπηση της βιβλιογραφίας οι τιμές 1, 1 και 100, 10 είναι πολύ μικρότερες και αντίστοιχα πολύ μεγαλύτερες από τις τιμές που έχουν προταθεί για οποιαδήποτε εδάφη. Ακόμη για την καλύτερη τοποθέτηση του προβλήματος επιλέχθηκε η τιμή των υγρασιών που προκύπτουν από την ελαχιστοποίηση να μην υπερβαίνουν την υγρασία κορεσμού θ_s της στρώσης 0-30 cm η οποία προσδιορίσθηκε με τη λήψη αδιατάρακτου δείγματος εδάφους και η τιμή της είναι θ_s=54.71%. Ο περιορισμός αυτός, εισήχθηκε στην αντικειμενική συνάρτηση του γενετικού αλγορίθμου με τη μέθοδο της ποινής.

Οι τιμές της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής πάρθηκαν από τα λυσίμετρα 1 και 2 μέσω της εύρεσης ενός τοπικού φυτικού συντελεστή ο οποίος και ικανοποιούσε το ημερήσιο και το συνολικό υδατικό ισοζύγιο των λυσίμετρων (Paraskevas et al., 2013). Οι τιμές των αρδεύσεων ήταν ίδιες και για τα τρία λυσίμετρα ενώ οι τιμές των βροχοπτώσεων πάρθηκαν από τον μετεωρολογικό σταθμό του πειραματικού. Οι γενετικοί τελεστές που χρησιμοποιηθήκαν ήταν η επιλογή με τη μέθοδο του διαγωνισμού, η διασταύρωση διανυσμάτων και η μετάλλαξη. Η κωδικοποίηση των λύσεων έγινε με διανύσματα πραγματικών αριθμών, το μέγεθος του διαγωνισμού επιλέχθηκε ίσο με 3 ενώ προστέθηκε στον τελεστή της επιλογής και η ιδιότητα του ελιτισμού. Η πιθανότητα διασταύρωσης λήφθηκε ίση με 0.80 και η μετάλλαξη, εντός του πεδίου τιμών των συντελεστών A_1 και B_1, εφαρμόστηκε στις παραμέτρους των λύσεων

αυτών που δεν είχαν υποστεί διασταύρωση.

Τα αποτελέσματα της βελτιστοποίησης με γενετικό αλγόριθμο μετά από 500 γενεές και για μέγεθος πληθυσμού λύσεων ίσο με 50 παρουσιάζονται στον Πίνακα 3. Παράλληλα παρουσιάζεται και η τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης για τις τιμές A_1, B_1 της βαθμονόμησης με υγρασίες που πρόεκυψαν βαρυμετρικά από εδαφικά δείγματα του Πίνακα 2.

Πίνακας 3. Συντελεστές εξίσωσης βαθμονόμησης που πρόεκυψαν από τη βελτιστοποίηση με γενετικούς αλγόριθμους και από τη βαθμονόμηση με υγρασίες που προέκυψαν βαρυμετρικά καθώς και οι τιμές των αντίστοιχων αντικειμενικών συναρτήσεων

	A_1	**B_1**	**Αντικειμενική συνάρτηση**
Γενετικοί αλγόριθμοι	64.159	1.513	1678.811
Βαρυμετρική βαθμονόμηση	70.288	3.571	4827.111

3.2. Σύγκριση αποτελεσμάτων

Η αξιολόγηση της βελτιστοποίησης γίνεται με σύγκριση μεταξύ των μετρημένων τιμών και των υπολογισμένων τιμών με τη χρήση τόσο ποιοτικών όσο και ποσοτικών διαδικασιών. Οι ποιοτικές διαδικασίες αφορούν τη γραφική σύγκριση των μετρημένων τιμών και των αποτελεσμάτων, ενώ οι ποσοτικές αφορούν την ανάλυση στατιστικών κριτηρίων.

Οι μετρημένες τιμές αφορούν τη διαφορά των εισροών (βροχόπτωση και άρδευση) από την εξατμισοδιαπνοή και οι υπολογισμένες τιμές την μεταβολή της εδαφικής υγρασίας Δθ κάνοντας χρήση των αντίστοιχων συντελεστών A, B (Εξίσωση 2).

Τα στατιστικά κριτήρια που επιλέχθηκαν αφορούν το μέσο απόλυτο σφάλμα (MAE, mean absolute error) και το μέσο τετραγωνικό ποσοστιαίο σφάλμα (RMSPE, root mean square percentage error) το οποία δίνονται από τους τύπους (Hyndman and Koehler, 2006):

$$MAE = \frac{\sum |O_i - P_i|}{n} \quad (5)$$

$$RMSPE(\%) = \sqrt{\frac{1}{n}\sum \left(100\frac{O_i - P_i}{O_i}\right)^2} \quad (6)$$

όπου: O_i οι μετρημένες τιμές, P_i οι υπολογισμένες τιμές, n το πλήθος των τιμών των παραπάνω τιμών.

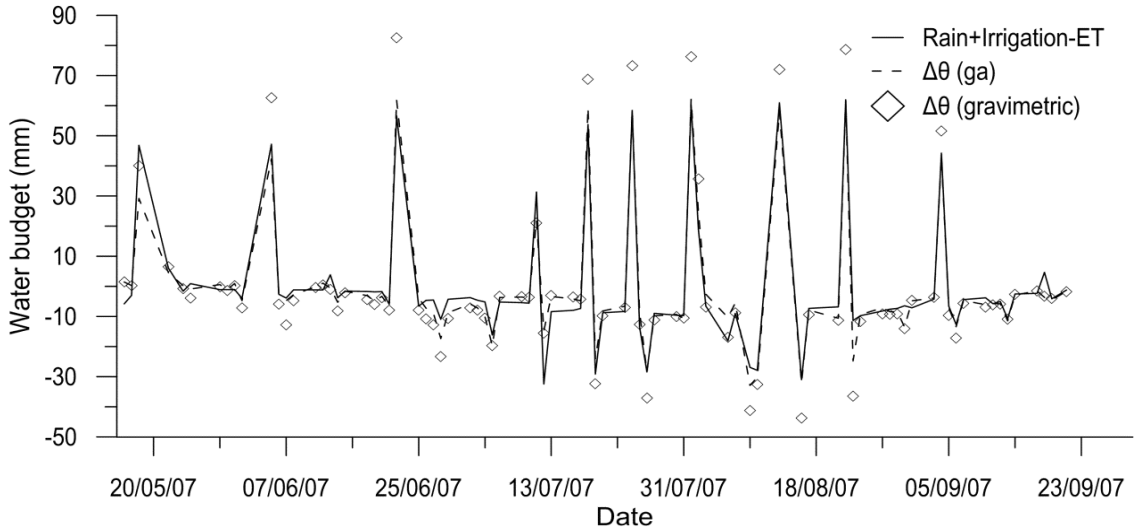
Τα αποτελέσματα της εφαρμογής των Εξισώσεων 5 και 6 παρουσιάζονται στον Πίνακα 4. Οι βέλτιστες τιμές των κριτηρίων MAE και RMSPE είναι το μηδέν.

Πίνακας 4. Σύγκριση στατιστικών κριτηρίων αποτελεσμάτων χρήσης συντελεστών εξίσωσης βαθμονόμησης που πρόεκυψαν από τη βελτιστοποίηση με γενετικούς αλγόριθμους και από τη βαθμονόμηση με υγρασίες που προέκυψαν βαρυμετρικά

	MAE (mm)	**RMSPE** (%)
Γενετικοί αλγόριθμοι	2.94	6.91
Βαρυμετρική βαθμονόμηση	5.08	10.47

Όπως φαίνεται στον Πίνακα 4 η βελτίωση που προκαλείται στα αποτελέσματα που προέκυψαν από τη βελτιστοποίηση με τη βοήθεια των γενετικών αλγορίθμων ξεπερνά το 40% το οποίο εμφανίζεται και στα δύο στατιστικά κριτήρια που επιλέχθηκαν.

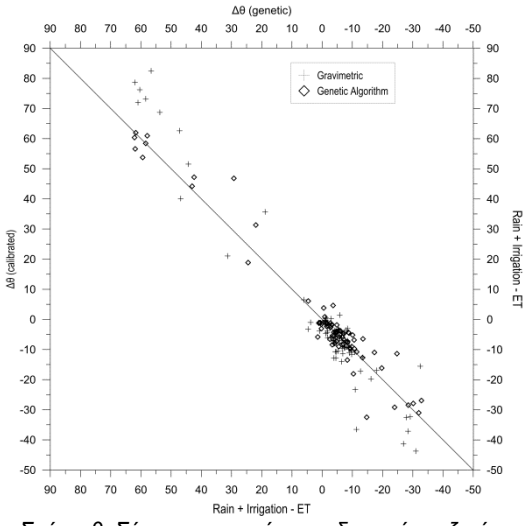
Η γραφική σύγκριση των παραπάνω αποτελεσμάτων γίνεται στο Σχήμα 2. Συγκεκριμένα παρουσιάζεται η μεταβολή της υγρασίας κάνοντας χρήση των συντελεστών βαθμονόμησης οι οποίες προέκυψαν από τη βελτιστοποίηση με γενετικούς αλγόριθμους (Δθ(ga)) σε σχέση με τη διαφορά της εξατμισοδιαπνοής από τις εισροές (βροχόπτωση και άρδευση). Στο ίδιο Σχήμα παρουσιάζεται και η μεταβολή της υγρασίας χρησιμοποιώντας τους συντελεστές βαθμονόμησης του Πίνακα 2 (Δθ(gravimetric).



Σχήμα 2. Σύγκριση ημερήσιου υδατικού ισοζυγίου (βροχόπτωση + άρδευση - εξατμισοδιαπνοή) με τη μεταβολή της υγρασίας κάνοντας χρήση των συντελεστών βαθμονόμησης οι οποίες προέκυψαν από τη βελτιστοποίηση με γεν. αλγόριθμους (Δθ(ga)) και αυτής που προέκυψε από υγρασίες βαρυμετρικά προσδιορισμένες (Δθ (gravimetric))

Στο Σχήμα 2 φαίνεται η υπεροχή των τιμών υγρασίας χρησιμοποιώντας τους συντελεστές βαθμονόμησης οι οποίοι προέκυψαν από τη βελτιστοποίηση με γενετικούς αλγόριθμους (Δθ(ga)) έναντι των αντίστοιχων που προέκυψαν από τη βαθμονόμηση με τιμές υγρασίας βαρυμετρικά προσδιορισμένες (Δθ(gravimetric)). Η απόκλιση που παρουσιάζουν οι τελευταίες ειδικά για τα συμβάντα εισροών (βροχοπτώσεων και αρδεύσεων) είναι ιδιαίτερα μεγάλη.

Αντίστοιχα αποτελέσματα με αυτά του Σχήματος 2 παρουσιάζονται και στο Σχήμα 3. Μεγαλύτερη διασπορά και απόκλιση παρουσιάζουν οι τιμές της υγρασίας που προέκυψαν από τη βαθμονόμηση (+) του Πίνακα 2 σε σχέση με τη βαθμονόμηση με τους βελτιστοποιημένους με γενετικούς αλγόριθμους (◊) συντελεστές A, B.



Σχήμα 3. Σύγκριση ημερήσιου υδατικού ισοζυγίου με τη μεταβολή της υγρασίας κάνοντας χρήση βελτιστοποιημένους με γενετικούς συντελεστές βαθμονόμησης και με τους συντελεστές που προέκυψαν από υγρασίες βαρυμετρικά προσδιορισμένες

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η βελτιστοποίηση με γενετικούς αλγόριθμους αντικειμενικής συνάρτησης που στηρίζεται στο υδατικό ισοζύγιο για τη βαθμονόμηση του αισθητήρα Diviner 2000, η οποία εφαρμόσθηκε στην παρούσα εργασία, φαίνεται να δίνει πολύ καλά αποτελέσματα. Το πλεονέκτημα που παρέχει η χρήση των γενετικών αλγορίθμων είναι πως δεν απαιτεί την ύπαρξη κάποιων τιμών A, B ως αρχική συνθήκη. Η μέθοδος που εφαρμόσθηκε απαιτεί την ύπαρξη αξιόπιστων μετρήσεων των κλασμάτων του υδατικού ισοζυγίου (βροχοπτώσεων, αρδεύσεων, εξατμισοδιαπνοής) τα οποία είναι εύκολο να μετρηθούν. Παράλληλα με αυτό απαιτείται και η γνώση της υγρασίας κορεσμού θ_s εδάφους για τον περιορισμό του εύρους τιμών των λύσεων. Με τον τρόπο αυτό μπορεί να αποφευχθεί η επίπονη, όχι πάντοτε επιτυχημένη αλλά και καταστροφική για το έδαφος που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν βαθμονόμηση των αισθητήρων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Allen R.G., Pereira L.S., Raes D., Smith M., 1998. Crop Evapotranspiration : Guidelines for Computing Crop Water Requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper No 56, pp. 300.

Evett S., Laurent J., Cepuder P., Hignett C., 2002. Neutron scattering, capacitance and TDR soil water content measurements compared on four continents. 17th World Congress of Soil Science in Thailand, Symposium 59, Paper 1021.

Gabriel J.L., Lizaso J.I., Quemada M., 2010. Laboratory versus Field Calibration of Capacitance Probes. Soil Sci Soc Am J, 74(2): 593-601.

Hyndman R., Koehler A., 2006. Another look at measures of forecast accuracy. Int J Forecasting, 22(4): 679-688.

Karpouzos D.K., Delay F., Katsifarakis K.L., Marsily G. de, 2001. A multi-population genetic algorithm to solve the inverse problem in hydrogeology. Water Resour Res, 37(9): 2291-2302.

Katsifarakis K.L., Karpouzos D.K., 2012. Genetic algorithms and water resources management: An established-yet evolving- relationship. Hydrology, Hydraulics and Water Resources Management: A Heuristic Optimisation Approach (Editor: K.L. Katsifarakis), WIT Press, Southampton, UK, pp. 7-38.

Karpouzos D.K., Katsifarakis K.L., 2013. A Set of New Benchmark Optimization Problems for Water Resources Management. Water Resour Manag, 27(9): 3333-3348.

Leib G., Jabro J., Matthews G., 2003. Field evaluation and preference comparison of soil moisture sensors. Soil Sci, 168(6): 396-408.

Michalewicz Z., 1994. Genetic algorithms + Data structures = Evolution programs, (2nd ed.), Springer Verlag, New York, pp. 340.

Paraskevas C., Georgiou P., Ilias A., Panoras A., Babajimopoulos C., 2012. Calibration equations for two capacitance water content probes. Int Agrophys, 26(3): 285-293.

Paraskevas C., Georgiou P., Ilias A., Panoras A., Babajimopoulos C., 2013. Evapotranspiration and simulation of soil water movement in small area vegetation. Int. Agrophys, 27(4), Accepted Article.

Sentek, 2001. Calibration of Sentek Soil Moisture Sensors. Sentek, Stepney, Australia.

Sentek, 2006. EnviroScan Solo Manual. Sentek, Stepney, Australia.

Sentek, 2007. Sentek Diviner 2000 User Guide. Sentek, Stepney, Australia.

Starr J.L. and Paltineanu I.J., 1998. Soil water dynamics using multisensory capacitance probe in non-traffic interrows of corn. Soil Sci Soc Am J, 62: 114-122.

Παρασκευάς Χ., Γεωργίου Π., Ηλίας Α., Πανώρας Α., Μπαμπατζιμόπουλος Χ., 2011. Εξισώσεις βαθμονόμησης δύο αισθητήρων μέτρησης εδαφικής υγρασίας σε λυσίμετρα. 7ο Πανελλήνιο Συνέδριο της Εταιρείας Γεωργικών Μηχανικών Ελλάδας, 24-27/11/2011, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών.

Ο ΡΟΛΟΣ ΤΩΝ ΒΟΗΘΗΤΙΚΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΣΤΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ ΜΕ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ

Σοφία Καβαλιεράτου[1] και Χρήστος Μπαμπατζιμόπουλος[1]
[1]Εργαστήριο Γενικής και Γεωργικής Υδραυλικής και Βελτιώσεων, Γεωπονική Σχολή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη, Τ.Κ. 54124

Αντικείμενο της παρούσας εργασίας είναι η διερεύνηση της επίδρασης των βοηθητικών συνθηκών στη δυνατότητα ενός μοντέλου υπόγειας ροής να προσεγγίσει ικανοποιητικά τη λειτουργία του φυσικού συστήματος που προσομοιώνει. Η διερεύνηση αυτή πραγματοποιήθηκε κατά την κατάρτιση ενός διδιάστατου μοντέλου μη μόνιμης ροής για τα υπόγεια νερά της πεδιάδας Πιερίας. Χρησιμοποιήθηκε το MODFLOW 2000 για τη δόμηση του μοντέλου και το PEST (μέθοδος Gauss-Levenberg-Marquardt) για τη ρύθμισή του. Για τη διερεύνηση της επίδρασης της αρχικής συνθήκης εφαρμόστηκαν διαφορετικές αρχικές κατανομές του φορτίου, ενώ ο ρόλος των οριακών συνθηκών ελέγχθηκε μεταβάλλοντας τις οριακές συνθήκες κατά ±10% και ±20%. Εξετάστηκε η επίδραση αυτών των μεταβολών στην κατανομή του φορτίου και στο συνολικό υδατικό ισοζύγιο και τις συνιστώσες του. Από τις διερευνήσεις προέκυψε ότι ο έλεγχος της διάρκειας επίδρασης της αρχικής συνθήκης σε σχέση με τη διάρκεια της προσομοίωσης, καθώς και η ανάλυση ευαισθησίας των οριακών συνθηκών, θα πρέπει να αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι της επαναληπτικής διαδικασίας κατάρτισης και ρύθμισης των μαθηματικών μοντέλων υπόγειων νερών. Κατά τη χρήση ενός ρυθμισμένου μοντέλου ως εργαλείου διαχείρισης, τα αποτελέσματα αυτών των διερευνήσεων συμβάλλουν στην εκτίμηση της αβεβαιότητας των προβλέψεων του μοντέλου που οφείλεται στην αρχική και τις οριακές συνθήκες.

Λέξεις κλειδιά: μαθηματικά μοντέλα, υπόγεια νερά, βοηθητικές συνθήκες, οριακές συνθήκες, αρχικές συνθήκες

THE ROLE OF BOUNDARY CONDITIONS IN GROUNDWATER MODELLING AND MANAGEMENT

Sofia Kavalieratou[1] and Christos Babajimopoulos[1]
[1]Laboratory of General and Agricultural Hydraulics and Land Reclamation, School of Agriculture, Aristotle University of Thessaloniki, Thessaloniki 54124, Greece
kavalier@agro.auth.gr, babajim@agro.auth.gr

This paper investigates the role of boundary conditions on groundwater flow modelling. The investigation was conducted during the development and calibration of a two-dimensional finite-difference transient flow model for the Pieria-plain aquifer. The software applied for model development and calibration was MODFLOW 2000 and PEST, respectively. To investigate the impact of the initial condition on model results, three different initial head distributions were applied and the resulting head-contours were compared. The role of boundary conditions was explored through a sensitivity analysis process: the reference values were altered by a percentage of ±10% and ±20%, and the resulting head distributions and water balances were compared. It was shown that sensitivity analysis of the initial and boundary conditions is necessary in the calibration process of a mathematical model. When a calibrated model is used for groundwater management, the results of this analysis can assist in the assessment of model predictions uncertainty.

Key words: ground water modelling, boundary conditions, initial conditions

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ποσοτική και ποιοτική υποβάθμιση των υπόγειων νερών δύσκολα αναστρέφεται, γι' αυτό είναι απαραίτητη η ένταξη της εκμετάλλευσή τους στα πλαίσια κατάλληλων σχεδίων διαχείρισης (Gleeson et al., 2012). Η κατάρτιση των σχεδίων διαχείρισης ενός υδροφορέα στηρίζεται σε μαθηματικά μοντέλα προσομοίωσης της λειτουργίας του (Karamouz et al., 2011). Συχνά όμως παρουσιάζονται μοντέλα στηριγμένα σε ανεπαρκή δεδομένα πεδίου, με σφάλματα ή αδιαφάνεια στα ενδιάμεσα στάδια κατάρτισης και ελλιπή αξιολόγηση, που παραβιάζουν τις παραδοχές και τις οριακές συνθήκες που ενυπάρχουν σ' αυτά (Middlemis, 2000, Ardito et al., 2004). Οι αποφάσεις διαχείρισης των υπόγειων νερών που στηρίζονται σε τέτοιου είδους μοντέλα και στα αποτελέσματά τους, μπορεί να είναι καταστροφικές.

Ο προσδιορισμός των κατάλληλων βοηθητικών συνθηκών (αρχικής και οριακών) αποτελεί βασικό τμήμα της διαδικασίας κατάρτισης ενός μαθηματικού μοντέλου υπόγειων νερών, συχνά όμως υπόκειται σε σημαντικά σφ άλματα (Reilly, 2001). Τα τελευταία χρόνια, η γενίκευση της χρήσης των μοντέλων υπόγειων νερών ως διαχειριστικών εργαλείων και η ανάγκη βελτίωσης της αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων τους, έχουν επαναφέρει το ενδιαφέρον της επιστημονικής κοινότητας στη μελέτη του ρόλου των βοηθητικών συνθηκών (Mazzilli et al., 2010, Carrera-Hernandez et al., 2012).

Στην παρούσα εργασία διερευνήθηκαν η διάρκεια επίδρασης της αρχικής συνθήκης και ο ρόλος των οριακών συνθηκών (γνωστής πλευρικής εισροής, γνωστού οριακού φορτίου και γνωστής εισροής από το άνω όριο ενός υδροφορέα) στη δυνατότητα ενός

μοντέλου υπόγειας ροής να προσεγγίσει ικανοποιητικά τη λειτουργία του φυσικού συστήματος που προσομοιώνει.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Η διερεύνηση του ρόλου των βοηθητικών συνθηκών πραγματοποιήθηκε κατά τη διαδικασία δόμησης, ρύθμισης κι εφαρμογής ενός διδιάστατου μοντέλου μη μόνιμης ροής για τα υπόγεια νερά της πεδιάδας Πιερίας. Για την κατάρτισή του μοντέλου χρησιμοποιήθηκε το MODFLOW 2000 (Harbaugh et al, 2000). Το μοντέλο καλύπτει έκταση 256 km^2 και αποτελείται από 1759 ενεργά κελιά, διαστάσεων 350m x 350m. Προσομοιώνει τη λειτουργία ενός συστήματος δύο υδροφορέων, ενός κλειστού στο βόρειο και κεντρικό τμήμα της περιοχής μελέτης και ενός ελεύθερου στο νότιο τμήμα. Για την περιγραφή της χωρικής δομής των υδρογεωλογικών παραμέτρων χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος διαχωρισμού σε ζώνες ίσης τιμής. Οι τιμές των 25 υδρογεωλογικών παραμέτρων προσδιορίστηκαν κατά τη ρύθμιση του μοντέλου, η οποία έγινε με τη μέθοδο Gauss – Levenberg - Marquardt με περιορισμούς, όπως αυτή εφαρμόζεται με το PEST (Doherty, 2004). Η ρύθμιση και η επαλήθευση του μοντέλου βασίστηκαν σε μηνιαία δεδομένα της περιόδου 9/1992–8/1995. Χρησιμοποιήθηκαν συνολικά 1291 παρατηρήσεις φορτίου σε 43 γεωτρήσεις της περιοχής μελέτης και 30 παρατηρήσεις παροχής των πηγών Δίου-Καρίτσας. Ως αντικειμενική συνάρτηση (F_t) χρησιμοποιήθηκε το άθροισμα των τετραγώνων των σταθμισμένων υπολοίπων φορτίου και παροχής. Από την αξιολόγηση προέκυψε ότι το μοντέλο προσομοιώνει ικανοποιητικά τη λειτουργία του φυσικού συστήματος (Καβαλιεράτου, 2007).

2.1. Αρχική συνθήκη

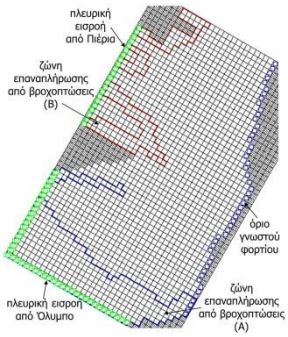
Στα μοντέλα υπόγειων νερών μη μόνιμης ροής, είναι απαραίτητο να οριστεί μια αρχική κατανομή του φορτίου σε κάθε κόμβο του δικτύου υπολογισμών, η οποία όμως μπορεί να μην είναι συμβατή με το μοντέλο μη μόνιμης ροής. Η επίδραση αυτής της αρχικής συνθήκης ελαττώνεται όσο προχωρά η προσομοίωση. Αν η διάρκεια επίδρασης της αρχικής συνθήκης είναι μεγαλύτερη από τη διάρκεια της περιόδου ρύθμισης, εισάγεται ένα σφάλμα στα φορτία που υπολογίζονται από το μοντέλο. Το σφάλμα αυτό μειώνει την αξιοπιστία και αυξάνει την αβεβαιότητα των προβλέψεων του μοντέλου.

Κατά την κατάρτιση του μαθηματικού μοντέλου της πεδιάδας Πιερίας, εξετάστηκε η διάρκεια επίδρασης της αρχικής συνθήκης δοκιμάζοντας τρεις διαφορετικές αρχικές κατανομές φορτίου. Και οι τρεις προέκυψαν από μετρήσεις στάθμης 32 γεωτρήσεων της περιοχής, με παρεμβολή. Η πρώτη (αρχική συνθήκη αναφοράς) υπολογίστηκε με τη μέθοδο Kriging, χρησιμοποιώντας το γραμμικό μοντέλο για την περιγραφή της χωρικής δομής του φορτίου. Η δεύτερη (test1) υπολογίστηκε επίσης με τη μέθοδο kriging, χρησιμοποιώντας όμως το γραμμικό μοντέλο με γραμμική τάση. Η τρίτη (test2) βασίστηκε σε κατανομή φορτίου που είχε υπολογιστεί για τις ανάγκες ενός άλλου μαθηματικού μοντέλου που είχε αναπτυχθεί από το Εργαστήριο Γεν. και Γεωργ. Υδραυλικής και Βελτιώσεων για την ίδια περιοχή (Τερζίδης και Μπαμπατζιμόπουλος, 1995). Η διάρκεια της προσομοίωσης ήταν 32 μήνες και ταυτίζονταν με την περίοδο ρύθμισης του μοντέλου (9/1992-4/1995).

Η σύγκριση των αρχικών συνθηκών test1 και test2 με την αρχική συνθήκη αναφοράς έγινε σχεδιάζοντας τις ισοπιεζομετρικές καμπύλες στο τέλος κάθε μήνα.

2.2. Οριακές συνθήκες

Οι οριακές συνθήκες του μοντέλου υπόγειων νερών πεδιάδας Πιερίας παρουσιάζονται στην Εικόνα 1. Το σύστημα των δύο υδροφορέων τροφοδοτείται πλευρικά, κατά μήκος του νότιου και του δυτικού ορίου. Στο νότιο τμήμα του (ελεύθερος υδροφορέας) και εν μέρει στο βορειοδυτικό (ζώνες με υψηλή περατότητα κατά μήκος ρεμάτων), εμπλουτίζεται και από τη διήθηση μέρους των βροχοπτώσεων. Σε μικρό βαθμό εκφορτίζεται στην περιοχή των πηγών. Το ανατολικό όριο του μοντέλου (κατά μήκος της ακτής) προσομοιώθηκε ως όριο γνωστού φορτίου.



Εικόνα 1. Οριακές συνθήκες του μοντέλου υπόγειων νερών πεδιάδας Πιερίας.

2.2.1 Οριακή συνθήκη γνωστού φορτίου

Το ανατολικό όριο του μοντέλου, κατά μήκος της ακτής, θεωρήθηκε όριο γνωστού φορτίου μεταβαλλόμενου με το χρόνο. Ανανεωμένες τιμές φορτίου δίνονταν στο τέλος κάθε μήνα. Οι τιμές αυτές υπολογίστηκαν με kriging από τις διαθέσιμες μετρήσεις φορτίου στις γεωτρήσεις της περιοχής μελέτης (γνωστό φορτίο αναφοράς).

Για να ελεγχθεί η επίδραση αυτής της οριακής συνθήκης, έγιναν δοκιμαστικές εκτελέσεις με οριακά φορτία ±10% και ±20% του γνωστού φορτίου αναφοράς. Η ιδιαιτερότητα αυτού του τύπου οριακής συνθήκης είναι ότι αποτελεί μια ανεξάντλητη πηγή νερού για τον υδροφορέα. Γι' αυτό, κατά τον έλεγχο της επίδρασης αυτής της οριακής συνθήκης, εξετάστηκαν, εκτός από τις προκύπτουσες μεταβολές φορτίου και τη χωρική κατανομή τους, και οι μεταβολές στις συνιστώσες του υδατικού ισοζυγίου του μοντέλου.

Επισημαίνεται ότι στο μοντέλο υπόγειων νερών της πεδιάδας Πιερίας η εισροή από το όριο γνωστού φορτίου θεωρήθηκε σχεδόν μηδενική. Αυτό λήφθηκε υπόψη κατά την ρύθμιση του μοντέλου και η εισροή από το όριο γνωστού φορτίου σε καμία χρονική περίοδο (μήνα) δεν ξεπέρασε το 1% του συνολικού υδατικού ισοζυγίου. Έτσι, κατά τη διερεύνηση αυτής της οριακής συνθήκης, οι αποκλίσεις που προέκυψαν στα υπολογιζόμενα φορτία και στις συνιστώσες του υδατικού ισοζυγίου ήταν ποσοτικά μικρές αλλά ποιοτικά σημαντικές.

2.2.2. Οριακή συνθήκη γνωστής πλευρικής εισροής

Ο υπολογισμός των ετήσιων πλευρικών εισροών (Πίνακας 1) βασίστηκε: στις ετήσιες βροχοπτώσεις-χιονοπτώσεις, στην έκταση που συνεισφέρει στην τροφοδοσία του υδροφορέα, και στο ποσοστό κατείσδυσης, που εξαρτάται από το είδος των πετρωμάτων. Στην περιοχή του Ολύμπου (καρστικά πετρώματα) το ποσοστό κατείσδυσης θεωρήθηκε ίσο με 45%, ενώ στην περιοχή των Πιερίων (νεογενή πετρώματα) θεωρήθηκε ίσο με 15%.

Πίνακας 1. Ετήσιες πλευρικές εισροές από Όλυμπο και Πιέρια

	Όλυμπος (m^3)	Πιέρια (m^3)
1ο έτος	101,557,080	27,557,200
2ο έτος	180,000,000	31,028,800
3ο έτος	125,734,500	26,840,000

Κάθε ετήσια πλευρική εισροή μεταβλήθηκε κατά ±10% και ±20%. Ελέγχθηκε η επίδραση κάθε μεταβολής στην ολική τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης (F_t) και στην τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης που αναλογεί στις παρατηρήσεις φορτίου (F).

2.2.3. Οριακή συνθήκη επαναπλήρωσης από βροχοπτώσεις

Επαναπλήρωση του υδροφορέα από βροχοπτώσεις παρατηρείται στο νότιο τμήμα (ζώνη Α) και σε περιοχές με υψηλή περατότητα στο βορειοδυτικό τμήμα (ζώνη Β), όπως φαίνεται στην Εικόνα 1. Οι ετήσιες τιμές επαναπλήρωσης από βροχοπτώσεις για κάθε ζώνη παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.

Κάθε τιμή του Πίνακα 2 μεταβλήθηκε κατά ±10% και ±20% (διατηρώντας τις υπόλοιπες σταθερές). Ελέγχθηκε η επίδραση κάθε μεταβολής στην ολική τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης (F_t) και στην τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης που αναλογεί στις παρατηρήσεις φορτίου (F).

Πίνακας 2. Ετήσιες τιμές επαναπλήρωσης από βροχοπτώσεις

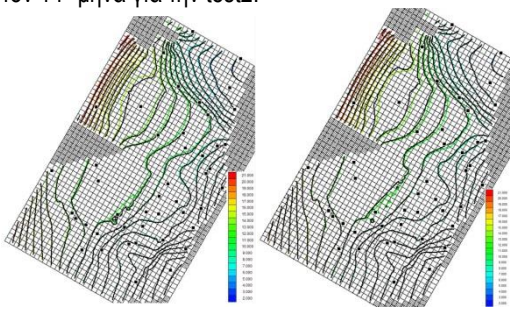
	Ζώνη Α (m^3)	Ζώνη Β (m^3)
1ο έτος	5,194,000	4,978,400
2ο έτος	20,776,000	5,756,275
3ο έτος	11,426,800	6,223,000

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΣΥΖΗΤΗΣΗ

3.1. Αρχική συνθήκη

Στην Εικόνα 2 παρουσιάζονται οι ισοπιεζομετρι-κές καμπύλες που προκύπτουν με την αρχική συνθήκη αναφοράς (έγχρωμες καμπύλες) και με τις αρχικές συνθήκες test1 και test2 (μαύρες καμπύλες), στο τέλος του 32ου μήνα της προσομοίωσης. Επίσης φαίνονται οι θέσεις των γεωτρήσεων στις οποίες υπάρχουν μετρήσεις στάθμης/φορτίου.

Όπως φαίνεται στην εικόνα, και στις δύο δοκιμαστικές εκτελέσεις, σ' ένα τμήμα του μοντέλου η επίδραση της αρχικής συνθήκης δεν έχει απαλειφθεί μέχρι το τέλος της προσομοίωσης (οι έγχρωμες καμπύλες δεν ταυτίζονται με τις μαύρες). Το τμήμα αυτό βρίσκεται προς το κέντρο του μοντέλου και στην περιοχή όπου υπάρχουν λιγότερες θέσεις μέτρησης της στάθμης/φορτίου. Αντίθετα, κοντά στα όρια του μοντέλου, και όπου η πυκνότητα των θέσεων μέτρησης είναι μεγαλύτερη, η επίδραση της αρχικής συνθήκης εξουδετερώθηκε μετά τον 20ο μήνα για την test1 και μετά τον 14ο μήνα για την test2.

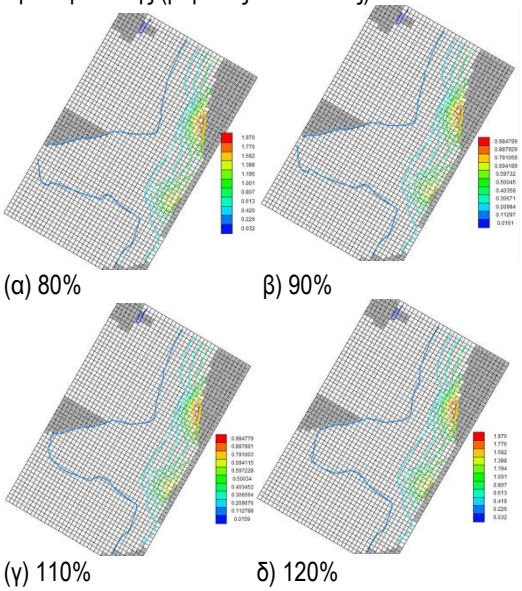


Εικόνα 2. Σύγκριση ισοπιεζομετρικών καμπυλών στο τέλος του 32ου μήνα. Οι έγχρωμες καμπύλες προέκυψαν με την αρχική συνθήκη αναφοράς, ενώ οι μαύρες καμπύλες προέκυψαν με τις αρχικές συνθήκες test1 (αριστερά) και test2 (δεξιά).

3.2 Οριακές συνθήκες

3.2.1 Οριακή συνθήκη γνωστού φορτίου

Στην Εικόνα 3 παρουσιάζεται η χωρική κατανομή των απόλυτων τιμών των αποκλίσεων μεταξύ των φορτίων που υπολογίστηκαν με το γνωστό φορτίο αναφοράς και των φορτίων που υπολογίστηκαν μεταβάλλοντας αυτή την οριακή συνθήκη κατά ±10% και ±20%. Τα αποτελέσματα αφορούν τον 20ο μήνα της προσομοίωσης (μέγιστες αποκλίσεις).



(α) 80% β) 90%

(γ) 110% δ) 120%

Εικόνα 3. Χωρική κατανομή των απόλυτων τιμών των αποκλίσεων (m) μεταξύ των φορτίων που υπολογίστηκαν με το γνωστό οριακό φορτίο αναφοράς και των φορτίων που υπολογίστηκαν με ποσοστιαίες μεταβολές αυτού (20ος μήνας).

Παρατηρήθηκε ότι ίσες κατά απόλυτη τιμή μεταβολές του οριακού φορτίου προκάλεσαν ίσες κατά απόλυτη τιμή αποκλίσεις του υπολογιζόμενου φορτίου. Η χωρική κατανομή των αποκλίσεων όμως

διαφοροποιήθηκε στο νοτιοδυτικό τμήμα του μοντέλου: στην περιοχή αυτή η επίδραση της μείωσης του οριακού φορτίου εκτεινόταν μακρύτερα από την επίδραση της αύξησής του. Στην υπόλοιπη περιοχή, η χωρική κατανομή των αποκλίσεων ήταν η ίδια και στις τέσσερις δοκιμές.

Στον Πίνακα 4 παρουσιάζονται οι ποσοστιαίες μεταβολές των συνιστωσών του υδατικού ισοζυγίου του μοντέλου, για τις τέσσερις δοκιμαστικές εκτελέσεις.

Πίνακας 4. Ποσοστιαίες μεταβολές των συνιστωσών του υδατικού ισοζυγίου λόγω της μεταβολής της οριακής συνθήκης γνωστού φορτίου

	-20%	-10%	+10%	+20%
Εισροές				
αποθήκευση	1.0%	0.5%	-0.5%	-0.8%
όριο γν. φορτίου	-57%	-35%	52 %	131%
πλευρ. εισροές	0%	0%	0%	0%
βροχοπτώσεις	0%	0%	0%	0%
Εκροές				
αποθήκευση	-5.5%	-2.5%	2.8%	5.5%
όριο γν. φορτίου	13%	6%	-5.7%	-10.5%
αντλήσεις	0%	0%	0%	0%
πηγές	-7.6%	-3.8%	3.8%	7.7%

Στο συνολικό ισοζύγιο, η εισροή από το όριο γνωστού φορτίου αντιπροσώπευε το 0.7% του συνόλου των εισροών, ενώ η εκροή περίπου το 20% του συνόλου των εκροών.

Είναι εμφανές ότι η μεταβολή του οριακού φορτίου επηρεάζει πολύ περισσότερο την εισροή από αυτό το όριο παρά την εκροή.

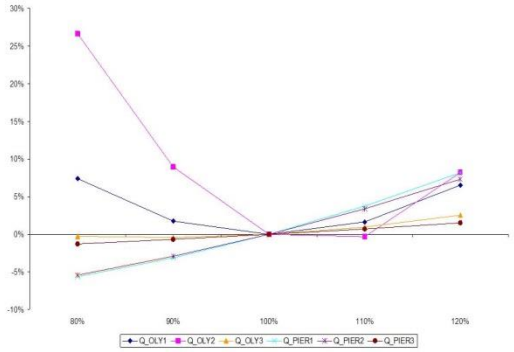
Όσον αφορά την εισροή από το όριο γνωστού φορτίου, παρατηρείται ότι η επίδραση της αύξησης του οριακού φορτίου είναι πολύ μεγαλύτερη από την επίδραση της αντίστοιχης μείωσης.

3.2.2 Οριακή συνθήκη γνωστής πλευρικής εισροής

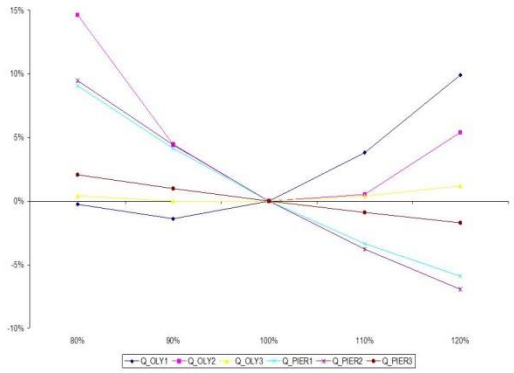
Στα Σχήματα 1 και 2 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της διερεύνησης για την επίδραση της οριακής συνθήκης γνωστής πλευρικής εισροής. Το Σχήμα 1 αφορά στην επίδραση της μεταβολής των παροχών πλευρικής εισροής στην ολική τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης (F_t). Το Σχήμα 2 δείχνει την επίδραση στην τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης που αναλογεί μόνο στις παρατηρήσεις φορτίου (F).

Για την πλευρική εισροή από τον Όλυμπο κατά το πρώτο έτος (Q_OLY1) της προσομοίωσης, παρατηρούμε ότι είτε αύξηση είτε μείωσή της αυξάνει την τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης, αν και η μείωσή της βελτιώνει λίγο την προσέγγιση των φορτίων. Το ίδιο περίπου ισχύει για τις πλευρικές εισροές από τον Όλυμπο και για τα δύο επόμενα έτη της προσομοίωσης (Q_OLY2 και Q_OLY3).

Η επίδραση όμως της μεταβολής των ετήσιων πλευρικών εισροών από τα Πιέρια (Q_PIER1, Q_PIER2, Q_PIER3), παρουσιάζεται διαφορετική: όσο μειώνονται οι τιμές αυτών των ετήσιων εισροών, μειώνεται και η συνολική τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης (F_t). Η μείωσή τους όμως συνεπάγεται πολύ μεγάλη αύξηση της συνιστώσας της αντικειμενικής συνάρτησης που οφείλεται στις παρατηρήσεις φορτίου (F). Αντίστοιχα, η μείωση της F που προκαλείται από την αύξηση αυτών των παραμέτρων, αντισταθμίζεται από την αύξηση της F_t.



Σχήμα 1. Επίδραση της μεταβολής των τιμών των παροχών πλευρικής εισροής στην ολική τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης

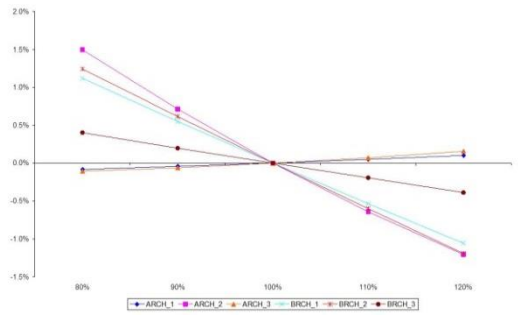


Σχήμα 2. Επίδραση της μεταβολής των τιμών των παροχών πλευρικής εισροής στην τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης που αναλογεί στις παρατηρήσεις φορτίου

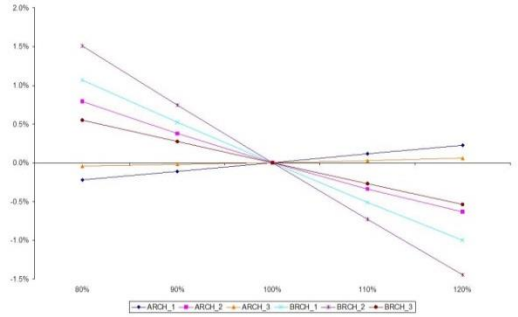
Οι ετήσιες πλευρικές εισροές από τα Πιέρια τροφοδοτούν το βόρειο μισό τμήμα του μοντέλου, στο οποίο παρατηρείται και η μεγαλύτερη υποεκτίμηση του φορτίου σε σχέση με τις υπάρχουσες μετρήσεις. Βελτίωση της προσέγγισης των μετρήσεων φορτίου σ' αυτό το τμήμα μπορεί να επιτευχθεί με αύξηση των ετήσιων πλευρικών εισροών από τα Πιερία. Η αύξηση αυτή όμως έρχεται σε αντίθεση με τις υπάρχουσες υδρογεωλογικές μελέτες. Είναι επομένως απαραίτητο να συλλεχθούν περισσότερα υδρογεωλογικά δεδομένα για το τμήμα αυτό του υδροφορέα, βάσει αυτών να αναπροσαρμοστεί το θεωρητικό μοντέλο λειτουργίας του υδροφορέα (conceptual model) και στη συνέχεια να τροποποιηθεί αντίστοιχα και το αριθμητικό μοντέλο.

3.2.3. Οριακή συνθήκη επαναπλήρωσης από βροχοπτώσεις

Στα Σχήματα 3 και 4 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της διερεύνησης για την οριακή συνθήκη επαναπλήρωσης από βροχοπτώσεις. Το Σχήμα 3 αφορά στην επίδραση της μεταβολής της ετήσιας επαναπλήρωσης από βροχοπτώσεις στην ολική τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης (F_t). Το Σχήμα 4 δείχνει την αντίστοιχη επίδραση στην τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης που αναλογεί μόνο στις παρατηρήσεις φορτίου (F).



Σχήμα 3. Επίδραση της μεταβολής της ετήσιας επαναπλήρωσης από βροχοπτώσεις στην ολική τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης



Σχήμα 4. Επίδραση της μεταβολής της ετήσιας επαναπλήρωσης από βροχοπτώσεις στην τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης που αναλογεί στις παρατηρήσεις φορτίου

Η επίδραση της επαναπλήρωσης από βροχοπτώσεις στη ζώνη Β είναι μεγαλύτερη από αυτή στη ζώνη Α. Όσο αυξάνονται οι ετήσιες τιμές επαναπλήρωσης από βροχοπτώσεις στη ζώνη Β, μειώνονται και η F_t και η F. Αυτό ενισχύει το συμπέρασμα που προέκυψε από τη διερεύνηση των πλευρικών εισροών, ότι αύξηση της εισροής στο βορειοδυτικό τμήμα του μοντέλου θα βελτίωνε την προσέγγιση των μετρήσεων φορτίου.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στα μοντέλα που προσομοιώνουν μη μόνιμη ροή, είναι απαραίτητος ο έλεγχος της διάρκειας επίδρασης της αρχικής συνθήκης σε σχέση με τη συνολική διάρκεια της ρύθμισης. Είναι πιθανό αυτή η αρχική κατανομή του φορτίου να επηρεάζει τα υπολογιζόμενα φορτία των εκτελέσεων πρόβλεψης, όταν το μοντέλο, μετά την ρύθμισή του, χρησιμοποιείται ως διαχειριστικό εργαλείο.

Όταν κάποιο από τα όρια του μοντέλου θεωρείται όριο γνωστού φορτίου, πρέπει να ελέγχεται η επίδραση αυτής της οριακής συνθήκης (και της χωρικής κατανομής της) τόσο στο υδατικό ισοζύγιο του μοντέλου, όσο και στα υπολογιζόμενα φορτία. Η διερεύνηση αυτή είναι απαραίτητη για την εκτίμηση της αυξημένης αβεβαιότητας που χαρακτηρίζει τα αποτελέσματα των εκτελέσεων πρόβλεψης, λόγω της χρήσης της αυτού του τύπου οριακής συνθήκης.

Κατά την κατάρτιση και ρύθμιση ενός μοντέλου υπόγειων νερών πρέπει επίσης να εξετάζεται η επίδραση των οριακών συνθηκών γνωστής εισροής στην προσέγγιση των παρατηρήσεων πεδίου. Ο υπολογισμός του πλευρικού εμπλουτισμού ενός υδροφορέα στηρίζεται σε εκτιμήσεις με βάση τα υδρολογικά και υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά της ευρύτερης περιοχής και χαρακτηρίζεται από μεγάλη αβεβαιότητα. Αν από τη διερεύνηση των οριακών συνθηκών γνωστής εισροής προκύπτει η ανάγκη τροποποίησης του θεωρητικού μοντέλου λειτουργίας του υδροφορέα, η τροποποίηση αυτή θα πρέπει να στηριχτεί σε νέα υδρολογικά και υδρογεωλογικά δεδομένα. Σ 'αυτήν την περίπτωση, το μοντέλο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως διαχειριστικό εργαλείο, για την σωστότερη όμως εκτίμηση της αξιοπιστίας των προβλέψεων θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη και η αβεβαιότητα που σχετίζεται με το θεωρητικό μοντέλο λειτουργίας του υδροφορέα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Καβαλιεράτου, Σ., 2007. Ανάλυση και διερεύνηση της βιώσιμης διαχείρισης των υπόγειων νερών με μαθηματικά μοντέλα σε περιβάλλον GIS. Διδακτορική Διατριβή, ΑΠΘ.

Τερζίδης, Γ., Μπαμπατζιμόπουλος, Χ., 1995. Αναρρύθμιση Μαθηματικού Μοντέλου πεδιάδας Πιερίας (Κατερίνης). Τελική Έκθεση.

Ardito, C., Jordan, D., Lavenue, M., Ruskauff, G., 2004. Requirements for defensible ground water modeling. INTERA Inc.

Carrera-Hernandez, J.J., Smerdon, B.D., Mendoza, C.A., 2012. Estimating groundwater recharge through unsaturated flow modeling: Sensitivity to boundary conditions and vertical discretization. Journal of Hydrology, 452-453:90-101.

Doherty, J., 2004. 'PEST Model-Independent Parameter Estimation', User Manual 5th edition, Watermark Numerical Computing.

Gleeson, T., Alley, W.M., Allen, D.M., Sophocleous, M.,A., Zhou, Y., Taniguchi, M., VanderSteen, J., 2012. Towards Sustainable Groundwater Use: Setting Long-Term Goals, Backcasting, and Managing Adaptively. Ground Water, 50(1):19-26.

Harbaugh, A.W., Banta, E.R., Hill, M.C., McDonald, M.G., 2000. MODFLOW-2000, the U.S. Geological Survey modular ground-water model - User guide to modularization concepts and the ground-water flow process. U.S. Geological Survey Open-File Report 00-92.

Karamouz, M., Ahmadi, A., Akhbari, M., 2011. Groundwater Hydrology. CRC Publishing, Boca Raton, New York.

Mazzilli, N., Guinot, V., Jourde, H., 2010. Sensitivity analysis of two-dimensional steady-state aquifer flow equations. Implications for groundwater flow model calibration and validation. Adv ances in Water Resources, 33:905-922.

Middlemis, H., 2000. Groundwater flow modelling guideline. Murray-Darling Basin Commission, Aquaterra Consulting Pty Ltd., South Perth, Western Australia.

Reilly, T.E., 2001. System and boundary conceptualization in ground-water flow simulation. U.S. Geological Survey Techniques of Water-Resources Investigations, Book 3, Applications of Hydraulics, Chapter B8

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ 4 ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΣΤΑΓΔΗΝ ΑΡΔΕΥΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΟΤΗΤΑ ΖΑΧΑΡΟΤΕΥΤΛΩΝ, ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ-ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥΣ

Π. Ντιούδης[1], Α. Φιλίντας[1], Μ. Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη[2], Δ. Καλφούντζος[1], Α. Παπαδόπουλος[3]
[1] Τομέας Αρδεύσεων-Διαχείρισης Αγροτικών Προϊόντων και Βιοπεριβάλλοντος, Τμήμα Μηχανικής Βιοσυστημάτων, ΤΕΙ Λάρισας, Περιφερειακή οδός Λάρισας-Τρικάλων, Τ.Κ.41110 Λάρισα, e-mail: filintas@teilar.gr
[2] Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγρ. Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Οδός Φυτόκου, Ν. Ιωνία Μαγνησίας, Τ.Κ. 38446
[3]ΕΘΙΑΓΕ / Ινστιτούτο Εδαφολογίας Θεσσαλονίκης, 570 01 Θέρμη-Θεσσαλονίκης

Ο σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η διερεύνηση της επίδρασης 4 διαφορετικών διατάξεων στάγδην άρδευσης και της εδαφικής υγρασίας στην παραγωγικότητα της καλλιέργειας ζαχαροτεύτλων (*Beta vulgaris* L.) και στην εύρεση της φιλικότερης περιβαλλοντικά καθώς και της οικονομικότερης διάταξης (θέμα ιδιαίτερα σημαντικό για τους Έλληνες αγρότες στους τωρινούς καιρούς οικονομικής κρίσης).

Το πείραμα πραγματοποιήθηκε σε αγροτική περιοχή του χωριού Ματαράγκα, του Νομού Καρδίτσας στην Κεντρική Ελλάδα. Έγιναν δειγματοληψίες εδάφους και ανάλυση των εδαφικών χαρακτηριστικών στο εργαστήριο σύμφωνα με SSSA. Μελετήθηκαν διάφοροι συνδυασμοί διατάξεων στάγδην άρδευσης (σε 4 επεμβάσεις (1x0,50m, 1x0,75m, 1,5x0,50m, και 1,5x0,75m) επί 6 επαναλήψεις), παρακολουθήθηκε ο όγκος διαβροχής του εδάφους και αξιολογήθηκαν οι συνέπειες στην παραγωγική συμπεριφορά των ζαχαροτεύτλων (Βάρος ριζών, ζαχαρικός τίτλος, ακατέργαστη ζάχαρη). Επίσης μετρήθηκε σε τακτά χρονικά διαστήματα η εδαφική υγρασία των επεμβάσεων με χρήση αισθητήρων μέτρησης εδαφικής υγρασίας (ΑΜΕΥ) σε συνδυασμό με συσκευή TDR (Time Domain Reflectometry).

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι μεταξύ των επεμβάσεων δεν παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά (p<0,05), στην παραγωγικότητα (Βάρος ριζών, ζαχαρικός τίτλος, ακατέργαστη ζάχαρη) των ζαχαροτεύτλων. Βάσει των ανωτέρω προτείνεται εφαρμογή της διάταξης 1,5x0,75m ως περισσότερο περιβαλλοντικής και οικονομικής αντί της χρησιμοποιούμενης 1x0,50m, διότι συνεπάγεται σημαντική οικονομία κόστους υλικών (42,94%), εργατικών, μεταφορικών, αποθήκευσης, συντήρησης, μειωμένης περιβαλλοντικής όχλησης, κλπ.

Λέξεις κλειδιά: Στάγδην άρδευση, παραγωγικότητα ζαχαροτεύτλων, εδαφική υγρασία, TDR, περιβαλλοντική και οικονομική ανάλυση.

STUDY OF THE INFLUENCE OF 4 DRIP IRRIGATION LAYOUT DESIGNS ON SUGAR BEET YIELD, AND ENVIRONMENTAL-ECONOMICAL ANALYSIS

P. Dioudis[1], A. Filintas[1], M. Sakellariou-Makrantonaki[2], D. Kalfountzos[1], A. Papadopoulos[3]
[1] Sector of Irrigation-Agricultural Products Management and Bioenvironment, Department of Biosystems Engineering, TEI of Larissa, Periferiaki Street Larissa-Trikala, GR-41110, Larissa, Greece, e-mail: filintas@teilar.gr
[2] Department of Agriculture Crop Production and Rural Environment, University of Thessaly, Fytokou Street, N. Ionia, GR-38446, Volos, Greece
[3] NAGREF/ Soil Institute of Thessaloniki, GR-570 01, Thermi-Thessaloniki, Greece.

The aim of the present work is to study the influence of 4 different drip irrigation layout designs and soil moisture on sugar beet (*Beta vulgaris* L.) productivity and also to find the most environmental friendly and most economical layout design (a very important theme for Greek farmers in now days economical crisis).

The experiment took place in an agricultural area of village Mataragka, in Karditsa prefecture-Central Greece. Soil sampling was performed in the field and soil analysis in the laboratory according to SSSA. Various combinations of drip irrigation layout designs were studied (in 4 treatments (1x0,50m, 1x0,75m, 1,5x0,50m, and 1,5x0,75m) upon 6 replications), soil's wet volume was monitored and the effects on sugar beet productivity (roots weight, sugar content, raw sugar) were evaluated.

Also, treatments' soil moisture was measured in frequent time intervals by the use of soil moisture sensors in conjunction with a TDR (Time Domain Reflectometry) device.

Results show that between treatments it was not observed statistically significant difference (p<0,05), on sugar beet productivity (roots weight, sugar content, raw sugar). Based on the above it is suggested the application of the drip irrigation layout design 1,5mx0,75m as most environmental and economical instead of the layout design 1mx0,50m which is used right now from the farmers, because the drip irrigation layout design 1,5mx0,75m entails important economy in parts cost (42.94%), in labour, transportation, storage, maintenance, reduced environmental infliction, etc.

Key words: drip irrigation, sugarbeet productivity, soil moisture, TDR, environmental and economical analysis.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η παγκόσμια παραγωγή ζαχαροτεύτλων είναι περίπου 234.000.000 tn, τα οποία παράγονται από 59.000.000 στρέμματα, δηλαδή παγκοσμίως η μέση παραγωγή είναι 3,97 tn/στρ (FAOSTAT, 2001). Η Ευρωπαϊκή Ένωση, οι ΗΠΑ και η Ρωσία είναι οι τρεις μεγαλύτεροι παραγωγοί ζαχαροτεύτλων στον κόσμο (Dioudis et al., 2010). Τα ζαχαρότευτλα αποδίδουν το 30% της παγκόσμιας παραγωγής ζάχαρης (FAO, 2006). Στην εργασία του FAO/AGL, (2002) σχετικά με τα ζαχαρότευτλα αναφέρεται ότι μια καλή εμπορική παραγωγή για βιολογικό κύκλο 160 έως 200 ημερών είναι 4,0 έως 6,0 tn/στρ με περιεκτικότητα 15% σε ζάχαρη. Από στοιχεία της Ε.Β.Ζ. στην Ελλάδα καλλιεργούνται περίπου 500.000 στρέμματα ζαχαρότευτλα. Από αυτά 8% αρδεύονται με στάγδην άρδευση, 5% αρδεύονται με μικρούς εκτοξευτήρες (μπέκ), 47% αρδεύονται με αυτοκινούμενο αρδευτή (καρούλι) με ράμπα, 35% περίπου με αυτοκινούμενο αρδευτή (καρούλι) με μεγάλο εκτοξευτήρα (κανόνι), 4% αρδεύονται με επιφανειακή άρδευση (κατάκλυση, αυλάκια) και τέλος ένα πολύ μικρό ποσοστό μικρότερο του 1 % αρδεύονται με sprayers (Ντιούδης, 2005; Dioudis et al., 2010). Μολονότι τα ζαχαρότευτλα θεωρούνται τα πιο ανθεκτικά φυτά στην ξηρασία (Dunham, 1993) σε σχέση με τον αραβόσιτο, τα φασόλια, τον ηλίανθο κλπ, εντούτοις σε επίπεδα ανταγωνιστικών αποδόσεων, η έλλειψη εδαφικής υγρασίας μειώνει σημαντικά την παραγωγικότητα και την οικονομική απόδοση της καλλιέργειας. Από πειράματα της Ε.Β.Ζ. παρατηρήθηκε ότι η μεγαλύτερη αύξηση στρεμματο-ζαχάρου σε σχέση με το μάρτυρα (χωρίς άρδευση) έφτασε τα 185% (ΕΒΖ, 1985). Στο Wyoming των ΗΠΑ, τα ζαχαρότευτλα αποτελούν την κύρια προσοδοφόρα καλλιέργεια με ετήσια συνεισφορά πάνω από 48.000.000 $ (Wyoming Agricultural statistics service, 1998). Στη συγκεκριμένη πολιτεία, οι Sharmasarkar et al., (2001) σε εργασία τους, που αφορούσε οικονομική ανάλυση της χρήσης της στάγδην άρδευσης για παραγωγή ζαχαροτεύτλων, αναφέρουν ότι το βάρος ριζών και η παραγωγή ζάχαρης ήταν υψηλότερα με τη χρήση της στάγδην άρδευσης σε σχέση με την άρδευση με αυλάκια. Η επένδυση κεφαλαίου για το σύστημα της στάγδην μειώθηκε με την αύξηση της έκτασης. Το συνολικό μεταβλητό κόστος της καλλιέργειας (άρδευση, λίπανση κλπ.) για τη στάγδην άρδευση ήταν μικρότερο της άρδευσης με αυλάκια. Η ακαθάριστη πρόσοδος για την καλλιέργεια των ζαχαροτεύτλων ήταν 208 $ και 231 $ ανά στρέμμα για άρδευση με αυλάκια και σταγόνα αντίστοιχα.

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να διερευνηθεί η επίδραση διαφορετικών διατάξεων άρδευσης: α) στην παραγωγικότητα (Βάρος ριζών, ζαχαρικός τίτλος, ακατέργαστη ζάχαρη) της καλλιέργειας των ζαχαροτεύτλων και β) στην εύρεση της περισσότερο περιβαλλοντικά φιλικής και της οικονομικότερης διάταξης στάγδην άρδευσης για μείωση αρνητικών επιπτώσεων στο περιβάλλον, καθώς και μείωση κόστους υλικών, εργατικών, μεταφορικών, αποθήκευσης, συντήρησης, κλπ.

2. ΥΛΙΚΑ, ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΙ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

Το πείραμα πραγματοποιήθηκε σε αγροτική περιοχή της Ματαράγκα Καρδίτσας στην Κεντρική Ελλάδα. Έγιναν δειγματοληψίες εδάφους και ανάλυση των εδαφικών χαρακτηριστικών στο εργαστήριο σύμφωνα με SSSA, (1986). Η σπορά των ζαχαροτεύτλων (*Beta vulgaris L.*, var. Rizor) έγινε στις αρχές Απριλίου σε αποστάσεις 50cm μεταξύ των γραμμών και 12 cm επί των γραμμών. Δόθηκε βασική λίπανση με 14 χλγ N /στρ, 10 χλγ P /στρ και 8 χλγ K /στρ. Μελετήθηκαν διάφοροι συνδυασμοί διατάξεων συστήματος στάγδην άρδευσης, παρακολουθήθηκε ο όγκος διαβροχής του εδάφους και αξιολογήθηκαν οι συνέπειες στην παραγωγική συμπεριφορά των ζαχαροτεύτλων (Βάρος ριζών, ζαχαρικός τίτλος, ακατέργαστη ζάχαρη). Σε κάθε συνδυασμό (επέμβαση) διατάξεων σταλακτηφόρων και σταλακτήρων εφαρμόστηκε ίση ποσότητα νερού, σε διαφορετικούς χρόνους λειτουργίας του συστήματος. Η διάταξη των τεσσάρων επεμβάσεων και των έξι επαναλήψεων δίδεται στον πίνακα 1 και στο σχήμα1.

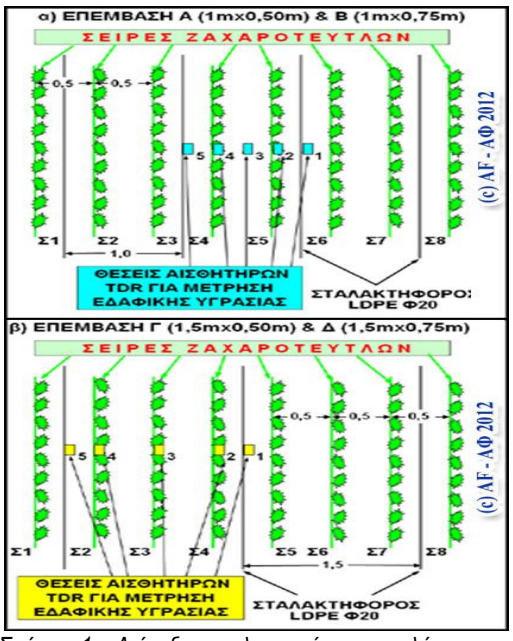
Πίνακας 1. Διάταξη των 4 (Α, Β, Γ, Δ) επεμβάσεων (σύνολο 24 πειραματικά τεμάχια).

Επεμβάσεις		Επαναλήψεις					
	[1]St x Sr	1η	2η	3η	4η	5η	6η
Α	1x0,50	Α	Β	Γ	Α	Γ	Δ
Β	1x0,75	Δ	Γ	Δ	Β	Α	Β
Γ	1,5x0,50	Β	Α	Β	Γ	Β	Α
Δ	1,5x0,75	Γ	Δ	Α	Δ	Δ	Γ

[1] St (m) = Ισαποχή μεταξύ σταλακτηφόρων σωλήνων. Sr (m) = Ισαποχή μεταξύ σταλακτήρων.

Κάθε πειραματικό τεμάχιο (π.τ.) είχε πλάτος 9m (κάθετα στις γραμμές σποράς) και μήκος 10,5m (παράλληλα στις γραμμές σποράς), και υπήρχαν συνολικά 24 πειραματικά τεμάχια. Η εφαρμοζόμενη ποσότητα νερού κάθε άρδευσης καθορίστηκε με τη βοήθεια εξατμισιμέτρου τύπου Α με βάση την αθροιστική εξατμισοδιαπνοή από την προηγούμενη άρδευση. Έγιναν μετρήσεις της εδαφικής υγρασίας μια ημέρα μετά την άρδευση. Οι μετρήσεις έγιναν σε σημεία επί των σταλακτηφόρων σωλήνων, επί των γραμμών των ζαχαροτεύτλων και ανάμεσα από αυτές, όπως φαίνεται στο σχήμα 1. Ακόμη, υπολογίστηκε η υπόγεια συνεισφορά νερού λαμβάνοντας υπόψη τις μετρήσεις της εδαφικής υγρασίας, την εξατμισοδιαπνοή, την αρχική υγρασία του εδάφους πριν την έναρξη της άρδευσης, την ωφέλιμη βροχόπτωση, τον μέσο όρο της μεταβολής της εδαφικής υγρασίας σε κάθε πειραματικό τεμάχιο, το καθαρό ύψος (net) του νερού άρδευσης και τον αριθμό των αρδεύσεων.

Το αρδευτικό δίκτυο αποτελείται από τον αγωγό μεταφοράς, που ήταν Φ89 μεταλλικοί σωλήνες 6m με ταχυσυνδέσμους, τους πρωτεύοντες και δευτερεύοντες αγωγούς από πολυαιθυλένιο HDPE Φ40/6Atm και Φ25/6Atm αντίστοιχα, και τους σταλακτηφόρους σωλήνες από πολυαιθυλένιο LDPE Φ20 με ενσωματωμένους απλούς σταλακτήρες μαιανδρικής διαδρομής. Οι σταλακτήρες αυτοί διαθέτουν βαθύ λαβύρινθο, ώστε να εξασφαλίζουν την τυρβώδη ροή του νερού και την ελάχιστη ευαισθησία στις εμφράξεις. Η παροχή εκάστου σταλάκτη ήταν 4 L/h σε πίεση λειτουργίας 1,20 Atm.



Σχήμα 1. Διάταξη σταλακτηφόρων σωλήνων και σταλακτών ανά πειραματική επέμβαση και θέσεις (1-5) αισθητήρων TDR AMEY.

Από μετρήσεις της παροχής τους διαπιστώθηκε ότι οι διακυμάνσεις της ήταν μέσα στα επιτρεπτά από τον κατασκευαστή όρια (Ντιούδης κ.ά., 2000; Ντιούδης, 2005; Filintas, 2008; Dioudis et al., 2010; Filintas et al., 2010). Στη μονάδα ελέγχου άρδευσης του πειραματικού αγρού υπήρχε διάταξη υδροκυκλώνα και υδροκυκλωνικού φίλτρου σίτας 120 mesh με ανάλογα εξαρτήματα και όργανα. Σε κάθε τεμάχιο υπήρχαν ρυθμιστές πίεσης. Οι μετρήσεις της κατ' όγκον υγρασίας έγιναν με τη μέθοδο TDR (Time Domain Reflectometry). Αυτή είναι μια, μη ραδιενεργός μέθοδος που βασίζεται στην άμεση μέτρηση της διηλεκτρικής σταθεράς του εδάφους και στην μετατροπή της σε κατ' όγκον υγρασία (Topp and Davis, 1985; Zegelin et al., 1992; Filintas, 2005; Filintas et al., 2007) η οποία αποδείχτηκε γρήγορη και αξιόπιστη, ανεξάρτητα από τον τύπο του εδάφους, εκτός από ακραίες περιπτώσεις εδαφών (Topp and Davis, 1985; Filintas, 2008; Filintas et al., 2010). Το σύστημα TDR που χρησιμοποιήθηκε, στην έρευνα έχει τη δυνατότητα να δίδει το προφίλ της εδαφικής υγρασίας σε βάθη 0-15, 15-30, 30-45, 45-60 και 60-75 cm, εξασφαλίζοντας καλή ακρίβεια μετρήσεων, αφού οι αισθητήρες βρίσκονται σε συνεχή επαφή με το έδαφος.

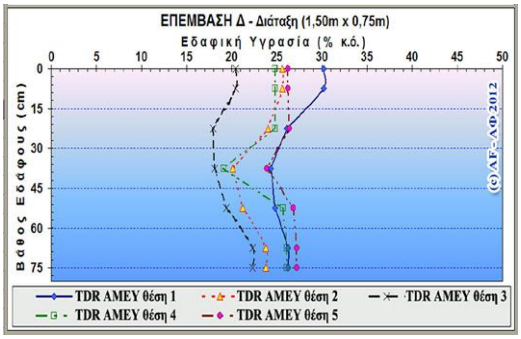
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Τα αποτελέσματα από τη μηχανική ανάλυση του εδάφους που έγινε στο εργαστήριο σύμφωνα με SSSA, (1986) φαίνονται στον πίνακα 2. Τα αποτελέσματα αντιπροσωπευτικών μετρήσεων της εδαφικής υγρασίας με αισθητήρες TDR για βάθος εδάφους 0-75cm φαίνονται στο σχήμα 2.

Πίνακας 2. Μηχανική ανάλυση του εδάφους

Εδαφικοί παράμετροι	Μονάδες	Τιμή
ΦΕΒ	g·cm^{-3}	1,45
Μηχανική ανάλυση	% Άργιλος	21,17
	% Ιλύς	36,72
	% Άμμος	42,11
Κλάση εδάφους	Τάξη	L
Υδατοϊκανότητα	[3] % κ.β.	18,34
	[4] % κ.ό.	26,60
[1] ΣΜΜ	[3] % κ.β	10,07
	[4] % κ.ό.	14,60
Διαθέσιμη υγρασία	cm·cm^{-1}	0,12
[2] Ks (σε 15cm βάθος)	cm·sec^{-1}	3,63·10^{-4}
[2] Ks (σε 45cm βάθος)	cm·sec^{-1}	3,63·10^{-4}

[1] ΣΜΜ = Σημείο Μόνιμης Μάρανσης.
[2] Ks = Κορεσμένη Υδραυλική Αγωγιμότητα.
[3] % κ.β.=% κατά βάρος. [4] % κ.ό.=% κατ' όγκο.



Σχήμα 2. Αντιπροσωπευτικές καμπύλες του προφίλ εδαφικής υγρασίας από μετρήσεις με αισθητήρες TDR AMEY σε 5 θέσεις και σε βάθος εδάφους 0-75cm, στην επέμβαση Δ (1,50m x 0,75m).

Τελικά η υπόγεια συνεισφορά νερού υπολογίστηκε περίπου σε 85mm. Από τις ενδείξεις της εδαφοτομής, το έδαφος κατατάσσεται στην κατηγορία Aquic σύμφωνα με το Soil Taxonomy (USDA, 1975). Άλλωστε, από την εδαφολογική μελέτη του ΕΘΙΑΓΕ φαίνεται ότι στο Νομό Καρδίτσας περίπου 50% των εδαφών ανήκει σε αυτή την κατηγορία (Aquic).

Από τη στατιστική ανάλυση των παραγωγικών χαρακτηριστικών (βάρος ριζών, ζαχαρικός τίτλος, ακατέργαστη ζάχαρη) των ζαχαροτεύτλων, προέκυψε ότι μεταξύ όλων των επεμβάσεων δεν παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά (Πίνακας 3).

Πίνακας 3. Στατιστική ανάλυση των 4 επεμβάσεων.

Επέμβαση [1]	Αριθμός Παρατηρήσεων	Μέσο Βάρος Ριζών (χλγ/στρ)	Μέσος Ζαχαρικός Τίτλος (%)	Μέση Ακατέργαστη Ζάχαρη (χλγ/στρ)
1,0x0,50	12	11.150	12,371	1.383,3
1,0x0,75	12	11.142	12,300	1.369,3
1,5x0,50	12	11.350	12,646	1.437,8
1,5x0,75	12	11.367	12,630	1.439,4
Μέσο Τετράγωνο (MS)	Επέμβαση	181.319	0.401	15.934
	Πειραματικό σφάλμα	687.633	0,396	20.597
Τυπική Απόκλιση	1.0mx50cm	910	0,651	169,0
	1,0mx75cm	827	0,730	115,4
	1,5mx50cm	669	0,587	139,8
	1,5mx75cm	889	0,533	144,8
Τιμή F-test		0,260	1,010	0,770
Σημαντικότητα F-test		0,851	0,397	0,515
α = 0,05		ΜΣΣ [2]	ΜΣΣ [2]	ΜΣΣ [2]

[1] Επέμβαση = Ισαποχή σταλακτηφόρων σωλήνων (m) x Ισαποχή σταλακτήρων (m)
[2] ΜΣΣ = Μη Στατιστικά Σημαντικό

Εκείνο που πρέπει να τονιστεί, είναι ότι στα πειραματικά των ζαχαροτεύτλων επιτεύχθηκαν μέσες παραγωγές 11,252 tn/στρ και ότι υπήρχε υπόγεια συνεισφορά υπόγειου νερού, με μεγάλη πιθανότητα να βοήθησε να επιτευχθούν αυτές οι υψηλές παραγωγές. Η μέση παραγωγή ήταν 5,976 tn/στρ. Βάσει των ανωτέρω, με τιμές υλικών άρδευσης του έτους 2012, το κόστος υλικών/στρ της διάταξης 1mx0,50m είναι 246,50 €, ενώ της διάταξης l,5mx0,75m είναι 140,65 €. Δηλαδή προκύπτει κέρδος/στρ 105,85 €/στρ. Η περιγραφή των υλικών και το κόστος αυτών στην κάθε διάταξη, καθώς και οι συγκρίσεις μεταξύ των διατάξεων φαίνονται στον πίνακα 4.

Από την οικονομική ανάλυση συμπεραίνεται ότι το κόστος αγοράς των υλικών άρδευσης (εκτός της μονάδας ελέγχου και του μεταλλικού αγωγού) στη διάταξη 1,5mx0,75m μειώνεται κατά 42,94% έναντι της διάταξης 1,0mx0,50m. Εκτός όμως των ανωτέρω πρέπει να ληφθούν υπ΄όψιν οι φθορές και το κόστος συντήρησης, το κόστος αποθήκευσης κι εργατικών και τα περιβαλλοντικά οφέλη που προκύπτουν από τη χρησιμοποίηση της ισαποχής σταλακτηφόρου 1,5m αντί της 1,0m, στην περίπτωση των ζαχαροτεύτλων. Τελικά εκείνο που είναι σίγουρο για τα ζαχαρότευτλα είναι ότι η συνολική δαπάνη συντήρησης ως ποσοστό του αρχικού κόστους εγκατάστασης είναι σημαντική και σαφώς μικρότερη στην ισαποχή του 1,5 m, σε σχέση με την ισαποχή του 1 m.

Ακόμη, ένα άλλο στοιχείο που πρέπει να αναφερθεί είναι το κόστος των εργατικών και μεταφορικών που απαιτούνται:

Πίνακας 4. Κόστος υλικών στάγδην άρδευσης ζαχαροτεύτλων σε €/στρ (με ΦΠΑ) για τιμές έτους 2012.

	Υ λ ι κ ά Ά ρ δ ε υ σ η ς	**Διάταξη 1m x 0,50m**	**Διάταξη 1,5m x 0.75m**
α/α	**Π ε ρ ι γ ρ α φ ή**	**[1] Κόστος Υλικών / στρ**	**[1] Κόστος Υλικών €/στρ**
1	Σταλακτηφόρος σωλήνας	1.000mx0,161€/m =161,00 €	667mx0,141€/m = 94,04 €
2	Μπλοκ σύνδεσης: (πολλαπλή κεφαλή σύνδεσης Φ20x1΄΄ + βάννα γραμμής 1΄΄x 1΄΄ + φίλτρο γραμμής 1΄΄x 1΄΄)	3 τεμ.x9,04€/τεμ. = 27,12 €	2τεμ. x9,04€/τεμ. = 18,08 €
3	Διόφθαλμα Φ20[2] + Σύνδεσμοι Φ20 + Διάφορα εξαρτήματα	58,38 €	28,53 €
	Σ Υ Ν Ο Λ Ο	246,50 €	140,65 €

[1] Το ανωτέρω κόστος σε €/στρ των ζαχαροτεύτλων αφορά όλα τα υλικά στάγδην άρδευσης εκτός της μονάδας ελέγχου (φίλτρα, κλπ) και του μεταλλικού αγωγού μεταφοράς νερού.
[2] Διόφθαλμα Φ20 = Πλαστικά τερματικά πώματα σταλακτηφόρου σωλήνα πολυαιθυλενίου.

α) Για τη μεταφορά του σταλακτηφόρου σωλήνα από την αποθήκη προς τον αγρό και το αντίστροφο στο τέλος της περιόδου. β) Για το άπλωμα του σταλακτηφόρου στον αγρό, στην αρχή της αρδευτικής περιόδου. γ) Για το μάζεμα του σταλακτηφόρου από τον αγρό, στο τέλος της αρδευτικής περιόδου. δ) Για την αποθήκευση του σταλακτηφόρου.

Στα ζαχαρότευτλα, η επιλογή ισαποχής σταλακτηφόρου ανά 1,5m αντί αυτής ανά 1m, συνεπάγεται περιβαλλοντικό (μείωση κινδύνου ρύπανσης περιβάλλοντος, εξοικονόμιση πόρων, κλπ) και οικονομικό όφελος όπως λιγότερα μέτρα σταλακτηφόρου κατά 33,33% (Πίνακας 4), που σημαίνει και την ανάλογη μείωση στα μεταφορικά, αποθήκευση και εργατικά.

4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Ο σκοπός των μετρήσεων της εδαφικής υγρασίας και της δημιουργίας των διαγραμμάτων (σχήμα 2), ήταν να εξαχθούν χρήσιμα συμπεράσματα όσον αφορά τη συσχέτιση των παραγωγικών χαρακτηριστικών των ζαχαροτεύτλων με την κατανομή της υγρασίας στο έδαφος. Από την μορφή των αντιπροσωπευτικών καμπυλών κατάνομής της εδαφικής υγρασίας, (σχήμα 2), φαίνεται ότι η αύξηση της στα βαθύτερα εδαφικά στρώματα δεν είναι η αναμενόμενη για ένα έδαφος πηλώδες (Loam) σύμφωνα με τον Παπαζαφειρίου, (1984) και δίνει σοβαρές ενδείξεις για υπόγεια συνεισφορά νερού.

Από τη στατιστική ανάλυση των παραγωγικών χαρακτηριστικών (βάρος ριζών, ζαχαρικός τίτλος, ακατέργαστη ζάχαρη) των ζαχαροτεύτλων, προέκυψε ότι μεταξύ όλων των επεμβάσεων δεν παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά (Πίνακας 3). Το ανωτέρω αποτέλεσμα είναι σημαντικότατο και μεγάλης οικονομικής σημασίας για την συγκεκριμένη περιοχή, διότι δείχνει πως αντί της διάταξης 1mx0,50m μπορεί να εφαρμοστεί η 1,5mx0,75m χωρίς να επηρεαστούν οι αποδόσεις. Τελικά μεταξύ όλων των διατάξεων δεν προέκυψε σε αυτό το πείραμα, στατιστικά σημαντική διαφορά στα παραγωγικά χαρακτηριστικά των ζαχαροτεύτλων. Επομένως, χρειάζεται επιπλέον έρευνα σε περιοχές χωρίς υπόγεια συνεισφορά νερού η οποία θα διαλευκάνει αν θα μπορεί να χρησιμοποιηθεί γενικά το συμπέρασμα ότι η ισαποχή του σταλακτηφόρου ανά 1,5m αντί ανά 1,0m δεν επηρεάζει τα παραγωγικά χαρακτηριστικά των ζαχαροτεύτλων.

Άρα, ενώ μπορεί να λεχθεί με σιγουριά ότι τα αποτελέσματα της έρευνας μπορούν να εφαρμοστούν στην υπό εξέταση περιοχή, δεν ισχύει το ίδιο για τις υπόλοιπες περιοχές όπου δεν υπάρχει υπόγεια συνεισφορά νερού. Από περιοχή χωρίς υπόγεια συνεισφορά νερού υπάρχουν δεδομένα ενός έτους από πειράματα ίδια με την παρούσα έρευνα, που έγιναν στον Πρόδρομο Λάρισας (Σακελλαρίου κ.ά., 1998). Από σχετική εργασία που έγινε από τους Πανώρα κ.ά., (1994), μελετήθηκε το είδος των φθορών και το κόστος συντήρησης ενός δικτύου άρδευσης με σταγόνες σε οπωρώνα ροδακινιάς κατά την περίοδο 1989-93, προέκυψαν τα εξής:

Η αποκατάσταση των βασικών φθορών του δικτύου (σταλακτηφόροι σωλήνες) απορρόφησε το 76,5% του συνολικού κόστους συντήρησης το οποίο ήταν για την ανωτέρω περίοδο περίπου το 60% του κόστους αρχικής εγκατάστασης.

Εδώ πρέπει να τονισθεί ότι η συμμετοχή των φθορών και του κόστους συντήρησης των σταλακτηφόρων σωλήνων στο συνολικό κόστος συντήρησης του δικτύου στα ζαχαρότευτλα είναι σαφώς μεγαλύτερη από εκείνη σ' έναν οπωρώνα διότι:

α) στα ζαχαρότευτλα χρησιμοποιούνται περισσότερα μέτρα σταλακτηφόρου σωλήνα, και

β) στον οπωρώνα το σύστημα στάγδην άρδευσης παραμένει μόνιμο, ενώ στην καλλιέργεια ζαχαροτεύτλων απλώνεται ο σταλακτηφόρος στην αρχή κάθε αρδευτικής περιόδου και μαζεύεται στο τέλος αυτής, με αποτέλεσμα να αυξάνονται κατά πολύ οι φθορές.

Επιπλέον, οι φθορές εξαρτώνται κατά πολύ από τον τύπο (πάχος τοιχώματος σωλήνα, ποιότητα πλαστικού υλικού, ελαστικότητα υλικού, διάμετρος, κλπ) του σταλακτηφόρου σωλήνα, από τα μηχανήματα απλώματος–μαζέματος, από την ικανότητα κι εμπειρία του αγρότη-χειριστή και από τον χώρο και τρόπο αποθήκευσης.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Έγιναν πειράματα στάγδην άρδευσης ζαχαροτεύτλων (*Beta vulgaris* L.) σε aquic εδάφη στην Ματαράγκα Καρδίτσας, με σκοπό να διερευνηθεί η επίδραση διαφορετικών διατάξεων άρδευσης: α) στην παραγωγικότητα (Βάρος ριζών, ζαχαρικός τίτλος, ακατέργαστη ζάχαρη) της καλλιέργειας των ζαχαροτεύτλων και β) στην εύρεση της περισσότερο περιβαλλοντικά φιλικής και της οικονομικότερης διάταξης στάγδην άρδευσης για μείωση αρνητικών επιπτώσεων στο περιβάλλον, καθώς και μείωση κόστους υλικών, εργατικών, μεταφορικών, αποθήκευσης, συντήρησης, κλπ. Έγινε συνδυασμός ισαποχής σταλακτηφόρων και σταλακτήρων σε 4 επεμβάσεις (1,0x0,50m, 1,0x0,75m, 1,5x0,50m, και 1,5x0,75m) επί 6 επαναλήψεις.

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι μεταξύ των επεμβάσεων δεν παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά (Πίνακας 3), στην παραγωγικότητα (βάρος ριζών, ζαχαρικός τίτλος, ακατέργαστη ζάχαρη). Βάσει των ανωτέρω προτείνεται εφαρμογή της διάταξης 1,5x0,75m ως περισσότερο οικονομικής και φιλικά περιβαλλοντικής αντί της χρησιμοποιούμενης 1,0x0,50m. Από την οικονομική ανάλυση συμπεραίνεται ότι το κόστος αγοράς των υλικών άρδευσης (εκτός της μονάδας ελέγχου και του μεταλλικού αγωγού) στη διάταξη

1,5x0.75m μειώνεται κατά 42,94% έναντι της διάταξης 1,0x0,50m. Επιπλέον συνεπάγεται περιβαλλοντικό όφελος και σημαντική οικονομία (33,28%) πλαστικών υλικών τα οποία ως ρυπαντές έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής και αποδόμησης, επιβαρύνοντας σημαντικά το περιβάλλον. Τέλος, η προτεινόμενη διάταξη συνεπάγεται και μείωση κόστους εργατικών, μεταφορικών, αποθήκευσης, συντήρησης, κλπ.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

FAOSTAT, 2001. Crops Statistics 12th. In: http://www.faostat. com. FAO, Rome, Italy.

Dioudis, P., Filintas, A., Papadopoulos, A. and M. Sakellariou-Makrantonaki, 2010. The influence of different drip irrigation layout designs on sugar beet yield and their contribution to environmental sustainability, Fresen. Environ. Bull., 19 (No.5): 818-831.

FAO, 2006. Major Food and Agricultural Commodities and Producers - Countries by Commodity. In: http://www.fao.org. FAO, Rome, Italy.

FAO/AGL, 2002. Aglw water management group, crop water management, sugar beet. FAO, Rome, Italy, pp 1-3.

Ντιούδης, Π., 2005. Επίδραση των διαφορετικών διατάξεων άρδευσης με σταγόνα σε ορισμένα παραγωγικά χαρακτηριστικά των ζαχαροτεύτλων. Διδακτορική διατριβή, Τμήμα Γεωπονίας, Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, σελ.285.

Dunham, R.M., 1993. The sugarbeet crop: Science into practice. Edited by D., A., Cooke and R. K. Scott, Chapman & Hall, pp 675.

EBZ, 1985. Αποτελέσματα ερευνητικού έργου έτους 1985. Διεύθυνση Γεωπονικών Υπηρεσιών, Ελληνική Βιομηχανία Ζάχαρης (EBZ), Λάρισα, 32-39.

Wyoming Agricultural Statistics Service, 1998. Wyoming Agricultural Statistics. Wyoming Department of Agriculture, Cheyenne, WY, pp 98.

Sharmasarkar, F.C., Sharmasarkar, S., Held, L.J., Miller, S.D., Vance, G.F. and Zhang, R., 2001. Agroeconomic analyses of drip irrigation for sugarbeet production. Agron. Journal, 93: 517-523.

SSSA, 1986. Methods of soil analysis. Part 1- Physical and mineralogical methods. American Society of Agronomy Inc. and Soil Science Society of America (SSSA) Inc., Madison, Wisconsin USA, 1188 pp.

Ντιούδης, Π., Σακελλαρίου - Μακραντωνάκη, Μ., Μασλάρης, Ν. και Νούσιος Γ., 2000. Διατάξεις άρδευσης με σταγόνες σε καλλιέργεια ζαχαρότευτλων. Πρακτικά 2ου Εθνικού Συνεδρίου Γεωργικής Μηχανικής, σελ. 149-156, 28-30 Σεπτεμβτίου 2000, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.

Φιλίντας, Α., 2008. «Μελέτη και χαρτογράφηση της παραγόμενης βιομάζας με χρήση χωρικής στατιστικής και γεωπληροφορικής» Μεταπτυχιακή Διατριβή, Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής, Γεωπονική Σχολή, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα, σσ. 160.

Filintas, A., Dioudis, P. and Prochaska, C., 2010. GIS modeling of the impact of drip irrigation, of water quality and of soil's available water capacity on Zea mays L. biomass yield and its biofuel potential. Desalination Water Treat., 13: 303–319.

Topp, G.C. and Davis, J.L., 1985. Measurement of soil water content using time-domain reflectometry: A field evaluation. Soil Sci. Soc. Am. J., 49: 19-24.

Zegelin, S.J., White, I. and Russel, G.F., 1992. A critique of the time domain reflectometry technique for determining field soil-water content. In: Advances in Measurement of Soil Physical Properties: Bringing Theory into Practice. 30, SSSA Special Publication, pp. 187-208.

Φιλίντας, Α., 2005. «Συστήματα Χρήσης Γης με έμφαση στα Γεωργικά Μηχανήματα, στις Αρδεύσεις και στη Νιτρορύπανση με Χρήση Δορυφορικής Τηλεπισκόπησης, Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών και Μοντέλων, σε επίπεδο Λεκάνης Απορροής στην Κεντρική Ελλάδα». Μεταπτυχιακή Διατριβή, Τμήμα Περιβάλλοντος, Σχολή Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Μυτιλήνη, σσ. 270.

Filintas, A., Dioudis, P., Koutseris, E. and Papadopoulos, A., 2007. Soils Nitrates GIS mapping, Irrigation water and applied N-fertilizer effects in soils nitrogen depletion in a drip irrigated experimental field in Thessaly basin. Proceedings of 3rd IASME/WSEAS International Conference on Energy, Environment, Eco-systems and Sustainable Development(EEESD'07), pp.487-492, Agios Nikolaos, Crete Island, Greece, 24-26 of July 2007.

Ιλαπαζαφειρίου, Ζ., 1984. Αρχές και πρακτική των αρδεύσεων. Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη, 68, 186-189, 210, 214.

USDA-Soil Survey Staff, 1975. Soil Taxonomy. A Basic System for Making and Interpreting Soil Surveys. USDA, Washington DC, USA.

Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη, Μ., Μασλάρης, Ν., Καλφούντζος, Δ. και Γούλας, Χ., 1998. Μελέτη διατάξεων άρδευσης με σταγόνες στην καλλιέργεια των ζαχαρότευτλων. Πρακτικά Ιου Εθνικού Συνεδρίου Γεωργικής Μηχανικής, σελ. 271-280, Αθήνα 11-12 Δεκεμβρίου 1998, ΕΓΜΕ.

Πανώρας, Γ.Α., Χατζηαθανασιάδου, Μ.Α. και Τοπής, Γ.Χ., 1994. Είδος φθορών και κόστος συντήρησης δικτύων άρδευσης με σταγόνες. Γεωπονικά, 350:35-40.

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΑΡΔΕΥΣΗΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΛΙΠΑΝΣΗΣ ΣΤΗΝ ΑΠΟΔΟΣΗ ΤΗΣ ΚΑΛΛΙΈΡΓΕΙΑΣ ΣΤΕΒΙΑΣ ΣΤΗΝ ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΕΛΛΑΔΑ

Δ. Καλφούντζος[1], Ι. Βασιλάκογλου[1], Ν. Γκουγκουλιάς[1] , Μ. Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη[2] , Θ. Λέλλης[1]
[1]Τ.Ε.Ι. Θεσσαλίας, Τμήμα Τεχνολόγων Γεωπόνων, Λάρισα
[2]Π. Θ., Τμήμα Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, Βόλος
Email: dka lf@teilar.gr

Σε πείραμα αγρού που εγκαταστάθηκε στο αγρόκτημα του Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Λάρισας αξιολογήθηκε η επίδραση της αναλογίας των τριών κύριων θρεπτικών στοιχείων (N:P:K σε αναλογίες λιπαντικών μονάδων 1:1:1 και 1:1,5:1,5) ως βασική λίπανση και της άρδευσης (100% και 75% της εξατμισοδιαπνοής) στην απόδοση σε ξηρή βιομάζα φύλλων δύο ποικιλιών ('Morita' και 'Candy-stevia') στέβιας [*Stevia rebaudiana* (Bertoni) Bertoni]. Τα φυτά στέβιας σπάρθηκαν το Μάρτιο του 2012 σε σπορεία και αναπτύχθηκαν σε θερμοκήπιο έως το τέλος της Άνοιξης. Στη συνέχεια μεταφυτεύθηκαν στον αγρό σε πυκνότητα 4150 φυτά ανά στρέμμα. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η απόδοση της στέβιας σε ξηρά φύλλα επηρεάστηκε ελάχιστα από την άρδευση και την αναλογία των τριών θρεπτικών στοιχείων. Η μεγαλύτερη απόδοση της ποικιλίας 'Candy-stevia' (185 kg/στρ) επιτεύχθηκε εκεί όπου εφαρμόστηκε η άρδευση του 100% της εξατμισοδιαπνοής και η βασική λίπανση N:P:K σε αναλογία λιπαντικών μονάδων 1:1,5:1,5. Αντίθετα, η απόδοση της ποικιλίας 'Morita' δεν επηρεάστηκε από τις παραπάνω επεμβάσεις, αλλά ήταν κατά μέσο όρο 44% μικρότερη από εκείνη της ποικιλίας 'Candy-stevia'.

Λέξεις κλειδιά: Στέβια, Υδατοκατανάλωση, Εξατμισοδιαπνοή, Λίπανση.

EFFECTS OF IRRIGATION AND FERTILIZATION IN STEVIA CROP YIELD IN CENTRAL GREECE

Δ. Kalfountzos[1], I. Vasilakoglou[1], N. Gougoulias[1], M. Sakellariou- Makrantonaki[2], Th. Lellis[1]
[1]Technological Educational Institute of Thessaly, Department Technology of Agriculture
[2]University of Thessaly, Department of Plant Production and Agricultural Enviroment, Volos
Zip. 411 10, Larissa, e-mail: dkalf@teilar.gr

In a field experiment that was installed on the farm of the Technological Educational Institute of Larissa was evaluated the effect of the ratio of the three main nutrients (N: P: K ratios in fertilization units 1:1:1 and 1:1.5:1.5) as the primary fertilization and of the irrigation (100% and 75% of evaporation) to yield a dry biomass of leaves of two varieties ('Morita' and 'Candy-stevia') Stevia [Stevia rebaudiana (Bertoni) Bertoni]. Stevia plants were sown in March 2012 in seedbeds and grown in a greenhouse until the end of Spring. Subsequently they were transplanted to the field at a density of 4150 plants per acre. The results showed that the yield of dry stevia leaves was hardly affected by irrigation, and the ratio of the three nutrients. Better performance of the variety 'Candy-stevia' (185 kg / ha) was achieved where irrigation was applied 100% of evapotranspiration and basic fertilization N: P: K in fertilization unit ratio of 1:1.5:1.5. In contrast, the yield of the variety 'Morita' was not affected by the above procedures, but was on average 44% lower than that of the variety 'Candy-stevia'.

Keywords: Stevia, Evapotranspiration, Water Irrigation, Fertilization.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η **στέβια [*Stevia rebaudiana* (Bertoni) Bertoni]** είναι θαμνώδες φυτό της οικογένειας Asteraceae, το οποίο ενδημεί κυρίως σε χώρες της Ν. Αμερικής και που καλλιεργείται, πλέον σε αρκετές χώρες παγκοσμίως για την εμπορική του εκμετάλλευση.

Οι γλυκοζίτες στεβιόλης (steviol glycosides) είναι τα γλυκά συστατικά των φύλλων του φυτού στέβια. Υπάρχουν πολλοί διαφορετικοί γλυκοζίτες στεβιόλης με διαφορετικές γλυκαντικές ιδιότητες. Οι γλυκοζίτες με τη μεγαλύτερη γλυκαντική ισχύ και τη μεγαλύτερη συγκέντρωση στα φύλλα του φυτού είναι η στεβιοσίδη (stevioside) και η ρεμπαουδιοσίδη-Α (rebaudioside-A). Ειδικότερα, οι δύο αυτοί γλυκοζίτες έχουν 200 έως 300 φορές μεγαλύτερη γλυκαντική ισχύ από την κοινή ζάχαρη. Σήμερα τα εκχυλίσματα της στέβιας χρησιμοποιούνται ως υποκατάστατο της κοινής, κρυσταλλικής ζάχαρης και αντί άλλων φυσικών ή συνθετικών γλυκαντικών υλών σε ροφήματα, αναψυκτικά διαίτης, ηδύποτα, γλυκίσματα, διαιτητικά τρόφιμα, τρόφιμα για διαβητικούς και ειδικά προϊόντα διατροφής. Με δεδομένο ότι μέχρι τώρα δεν υπάρχει οριστική απόφαση της EFSA, η στέβια επιτρέπεται να διατίθεται στο εμπόριο αποκλειστικά ως προϊόν ειδικής διατροφής. Παρ' όλα αυτά, εν αναμονή της απαιτούμενης κοινοτικής έγκρισης, οι Έλληνες αγρότες ενθαρρύνονται από τους κρατικούς φορείς να χρησιμοποιήσουν τη στέβια ως εναλλακτική καλλιέργεια στη θέση του καπνού και των ζαχαρότευτλων, καθώς δεν έχει μεγάλες απαιτήσεις σε θρεπτικά στοιχεία, σε άρδευση και φυτοπροστατευτικά προϊόντα.

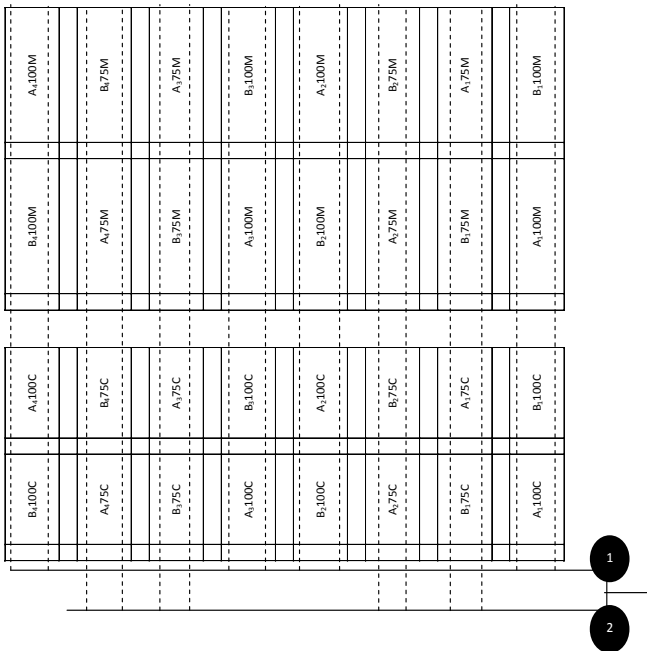
Η καλλιέργεια της στέβιας [*Stevia rebaudiana* (Bertoni) Bertoni] έχει ξεκινήσει σε πειραματικό επίπεδο τα τελευταία πέντε έτη στη χώρα μας, προκειμένου να διερευνηθεί το εάν μπορεί να αποτελέσει μία δυναμική εναλλακτική καλλιέργεια που θα αντικαταστήσει παραδοσιακές καλλιέργειες όπως ο καπνός, το βαμβάκι και τα ζαχαρότευτλα (Λόλας 2009, Ramesh κ.ά., 2006; Soejarto κ.ά., 1983). Επομένως, είναι απαραίτητο να αξιολογηθούν σε διάφορες περιοχές, καλλιεργητικές επεμβάσεις όπως η άρδευση και η λίπανση, προκειμένου να προδιοριστούν σε κάθε περιοχή οι καταλληλότερες καλλιεργητικές μεταχειρίσεις για αυτή τη νέα καλλιέργεια (Novak κ. ά., 2012). Προσέτι, πρέπει να αξιολογηθεί στη χώρα μας και η παραγωγικότητα των κυριότερων ποικιλιών. Για το σκοπό αυτό, σε πείραμα αγρού αξιολογήθηκε η επίδραση δύο επιπέδων άρδευσης (100% της εξατμισοδιαπνοής και το 75%) και δύο αναλογιών λιπαντικών μονάδων N, P, K της βασικής λίπανσης (αναλογίες 1:1:1 και 1:1,5:1,5) στον αριθμό βλαστών ανά φυτό, το συνολικό νωπό και ξηρό βάρος, καθώς και την απόδοση σε ξηρά φύλλα δύο ποικιλιών στέβιας ('Morita' και 'Candy-stevia').

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1 Περιγραφή της εγκαταστασης

Το αρδευτικό δίκτυο αποτελούνταν από τον κύριο αγωγό μεταφοράς από PE Φ32/6 Atm και από δευτερεύοντες αγωγούς PE Φ16/6 Atm. Οι σταλακτηφόροι σωλήνες της επιφανειακής στάγδην άρδευσης είχαν ισαποχή 1,0 m, μήκος 6 m και ήταν απλού τύπου PC/Φ16 της εταιρείας Eurodrip, με ενσωματωμένους σταλάκτες. Οι σταλάκτες ήταν απλοί, ισαποχής 0,33 m, παροχής 4 L h^{-1}. Μεταξύ της κύριας γραμμής και των γραμμών άρδευσης παρεμβαλλόταν μία χειρονακτική βάνα για τον έλεγχο της ροής στο σύστημα και ένας υδρομετρητής. Κάθε ηλεκτροβάνα με τον υδρομετρητή της συνδέθηκε με δύο γραμμές άρδευσης που τροφοδοτούσαν τέσσερα πειραματικά τεμάχια. Κάθε πειραματικό τεμάχιο επιφανειακής στάγδην άρδευσης είχε 2 σταλακτηφόρους σωλήνες (Σχήμα 1). Από τις ενδείξεις των υδρομετρητών και την έκταση του κάθε πειραματικού τεμαχίου υπολογίζονταν το ύψος του εφαρμοζόμενου νερού. Επίσης πάντα καταγράφονταν και η διάρκεια της άρδευσης για κάθε μεταχείριση. Εφαρμόστηκαν δύο επεμβάσεις άρδευσης και δύο επεμβάσεις λίπανσης σε δύο διαδεδομένες ποικιλίες στέβιας την Candy και τη Morita:

Τα εφαρμοζόμενα ποσοστά άρδευσης ήταν το 100% και το 75% της εξατμισοδιαπνοής. Τα εφαρμοζόμενα επίπεδα λίπανσης ήταν σε αναλογία των τριών κύριων θρεπτικών στοιχείων (N:P:K σε αναλογίες λιπαντικών μονάδων 1:1:1 και 1:1,5:1,5) ως βασική λίπανση Τα πειραματικά τεμάχια που φαίνονται στο Σχήμα 1 χαρακτηρίζονται από δύο γράμματα και έναν αριθμό. Το πρώτο γράμμα χαρακτηρίζει το επίπεδο λίπανσης (Α για το 1:1:1 και Β το 1:1,5:1,5)), ο δείκτης τον αριθμό της επανάληψης, ο αριθμός το επίπεδο άρδευσης το 100% και το 75% της εξατμισοδιαπνοής και το δεύτερο γράμμα C= ποικιλία Candy και M, τη Morita. Οι διαστάσεις κάθε πειραματικού τεμαχίου της ποικιλίας Candy ήταν 6x2,5=15 m^2 και της Morita 12x2,5=30 m^2. Το κάθε πειραματικό σχέδιο περιλάμβανε τυχαιοποιημένες ομάδες με τέσσερις επαναλήψεις.



Σχήμα 1. Σχηματική διάταξη πειραματικών τεμαχίων καλλιέργειας στέβιας 2012, αγροκτήματος Λάρισας.

2.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

Για την υλοποίηση του ερευνητικού προγράμματος εγκαταστάθηκε πειραματικός αγρός στέβιας στη Λάρισα (αγρόκτημα ΤΕΙ) που αρδεύεται με στάγδην άρδευση και εφαρμόζονται διάφορα επίπεδα άρδευσης στα πειραματικά τεμάχια. Από τις αναλύσεις των δειγμάτων εδάφους και την ταξινόμησή του (Πίνακας 1) προέκυψε ότι είναι αμμοαργιλοπηλώδες.

Με βάση τον αρχικό σχεδιασμό για την εφαρμογή των αρδεύσεων λαμβάνονται υπόψη εδαφολογικά στοιχεία (FC, PWP, διηθητικότητα). Η εφαρμογή των αρδεύσεων ακολουθεί την εφαρμοζόμενη στην περιοχή πρακτική και διενεργείται όταν έχει εξαντληθεί από το βάθος του ριζοστρώματος ποσότητα νερού περίπου ίση με την ωφέλιμη υγρασία στα πλέον αρδευόμενα πειραματικά τεμάχια.

Πίνακας 1. Φυσικές και χημικές ιδιότητες του εδάφους

Βάθος (cm)	Μηχανική σύσταση				ΟΟ %	ΦΕΒ g/cm^3	ΥΙ % κ.ο	ΣΜ % κ.ο
	Άμμος %	Ιλύς %	Άργιλος %	Χαρ/μός				
0-30	52,56	22,72	24,70	SCL	1,85	1,48	28,85	16,35
30-60	54,56	28,72	16,70	SCL	1,02	1,51	22,50	11,20
60-90	48,56	20,72	30,70	SCL	0,24	1,53	29,18	19,10

Βάθος (cm)	$CaCO_3$ %	pH H_2O 1:5	ECe 25°C	N-Ανόργ. (mg/kg)	P-Olsen (mg/kg)	K-Εναλ. meq/100g εδ.	DTPA-Cu ppm	DTPA-Zn ppm	DTPA-Mn ppm	CEC meq/100g εδ.
0-30	1,30	7,6	0,485	93,31	20,83	1,1	0,980	0,725	16,65	35,87
30-60	0,16	7,7	0,152	121,32	6,55	0,78	1,205	0,495	15,02	37,07
60-90	0,90	8,1	0,232	107,18	8,85	0,78	1,135	0,605	13,36	36,49

Το πείραμα εγκαταστάθηκε σε αγρό του αγροκτήματος του Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Λάρισας. Τα φυτά στέβιας σπάρθηκαν σε σπορεία το Μάρτιο του 2012 και αναπτύχθηκαν στο θερμοκήπιο του εργαστηρίου ζιζανιολογίας μέχρι τις αρχές Ιουνίου. Χρησιμοποιήθηκαν οι ποικιλίες στέβιας 'Morita' προέλευσης Λατινικής Αμερικής και 'Candy-stevia' προέλευσης Ισραήλ. Κατόπιν, όταν τα φυτά βρίσκονταν στο στάδιο των 10-12 cm, έγινε η μεταφύτευσή τους στον αγρό. Η βασική λίπανση περιελάμβανε τα θρεπτικά στοιχεία Ν, Ρ και Κ σε δόσεις λιπαντικών μονάδων 1:1:1 και 1:1,5:1,5 αντίστοιχα. Η μεταφύτευση των φυτών στέβιας έγινε σε αποστάσεις 60 x 40 cm, ώστε να επιτευχθεί πυκνότητα 4150 φυτών/στρ (Taleie et al. 2012). Τις κύριες ομάδες αποτελούσαν οι δύο ποικιλίες στέβιας, τα υποτεμάχια τα δύο επίπεδα άρδευσης και τα υπο-υποτεμάχια τα δύο επίπεδα λίπανσης. Τα κύρια τεμάχια, τα υποτεμάχια και τα υπο-υποτεμάχια απείχαν μεταξύ τους 2 m. Το μέγεθος κάθε υπο-υποτεμαχίου ήταν 15 m^2 και περιελάμβανε 4 γραμμές στέβιας. Η απομάκρυνση των ζιζανίων γίνονταν με το χέρι σε όλη τη διάρκεια της καλλιέργειας. Η απόδοση της στέβιας αξιολογήθηκε με μετρήσεις του συνολικού νωπού και ξηρού βάρος, του αριθμού βλαστών ανά φυτό και του συνολικού ξηρού βάρους των φύλλων. Για το σκοπό αυτό έγινε συγκομιδή 10 φυτών από τις δύο εσωτερικές γραμμές από κάθε πειραματικό τεμάχιο. Για κάθε πειραματικό τεμάχιο και κάθε επανάληψη θα εξεταστούν τα ποιοτικά χαρακτηριστικά της στέβιας από το Εργαστήριο Επεξεργασίας και Συντήρησης Αγροτικών Προϊόντων του Τμήματος Μηχανικής Βιοσυστημάτων του ΤΕΙ Λάρισας όπου και διατέθηκε όλη συγκομισθείσα παραγωγή.

Η σύγκριση των μέσων όρων έγινε με τεστ πολλαπλών ευρών Duncan, σε επίπεδο σημαντικότητας 0.05 (στατιστικό πακέτο SPSS 10).

Πίνακας 2. Ανόργανα διαθέσιμα στοιχεία σε καλλιέργεια δυο ποικιλιών Στέβιας(Candy, Morita)

	Μεταχείριση	N g/στρ.	P_2O_5 g/στρ.	K_2O kg/στρ.	N g/στρ.	P_2O_5 g/στρ.	K_2O kg/στρ.
		Ποικιλία (Candy)			Ποικιλία (Morita)		
Έναρξη καλλιεργητικής περιόδου		39,19	20,04	217,14	39,19	20,04	217,14
Προσθήκη λίπανσης	ΕΣΑ 100% (10-15-15)	10	15	15	10	15	15
	ΕΣΑ 100% (10-10-10)	10	10	10	10	10	10
	ΕΣΑ 75% (10-15-15)	10	15	15	10	15	15
	ΕΣΑ 75% (10-10-10)	10	10	10	10	10	10
Τέλος καλλιεργητικής περιόδου	ΕΣΑ 100% (10-15-15)	29,25	20,95	193,95	38,38	25,36	184,47
	ΕΣΑ 100% (10-10-10)	32,63	15,27	188,44	33,31	22,84	178,90
	ΕΣΑ 75% (10-15-15)	43,13	15,27	192,41	41,38	14,58	187,97
	ΕΣΑ 75% (10-10-10)	42,75	15,63	196,85	44,56	20,95	208,18

2.3 ΛΙΠΑΝΣΗ

Η θρέψη περιλάμβανε την βασική λίπανση (Α) με 90 Kg/στρ (10-15-15) και 66 Kg/στρ (15-15-15) στις διαφορετικές επεμβάσεις. Στον Πίνακα 2 παρουσιάζονται τα ισοζύγια θρεπτικών στις διαφορετικές μεταχειρίσεις.

2.4 ΥΔΑΤΟΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ

Η εφαρμοζόμενη ποσότητα νερού σε κάθε άρδευση υπολογίζονταν από τα μετεωρολογικά στοιχεία που λαμβάνονταν από τον αυτόματο μετεωρολογικό σταθμό που ήταν εγκατεστημένος εντός του πειραματικού αγρού. Η εκτίμηση της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς, ET_o, έγινε με τη χρήση της αναθεωρημένης μεθόδου FAO-56 Penman-Monteith (Allen et al., 1998).

Η ET_o είναι μια κλιματική παράμετρος και υπολογίσθηκε από τα μετεωρολογικά δεδομένα που συλλέχθηκαν από τον μετεωρολογικό σταθμό του Εργαστηρίου των Αρδεύσεων.

Η δυναμική εξατμισοδιαπνοή, ET_c, υπολογίσθηκε από την εξατμισοδιαπνοή αναφοράς, ET_o και τον απλό φυτικό συντελεστή (Allen et al., 1998) με τη σχέση:

$$ET_c = K_c \, ET_o \qquad (2.1)$$

Όπου: K_c , ο φυτικός συντελεστής ο οποίος για το στάδιο (1) διάρκειας 15 ημερών είχε την τιμή 0,5, στο στάδιο (2) διάρκειας 30 ημερών αυξάνονταν γραμμικά από 0,5 έως 0,9, στο στάδιο (3) διάρκειας 50 ημερών ήταν 0,9 και τέλος στο στάδιο (4) διάρκειας 15 ημερών μειώνονταν γραμμικά από 0,9 έως 0,4. Οι μετρήσεις αναφέρονται στην περίοδο Ιουνίου - Σεπτεμβρίου 2012. Στον πίνακα 2 παρουσιάζονται τα μήκη των σταδίων καθώς και η εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας κατά στάδιο ανάπτυξης.

Πίνακας 3. Διάρκεια των σταδίων ανάπτυξης της καλλιέργειας και εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας κατά στάδιο.

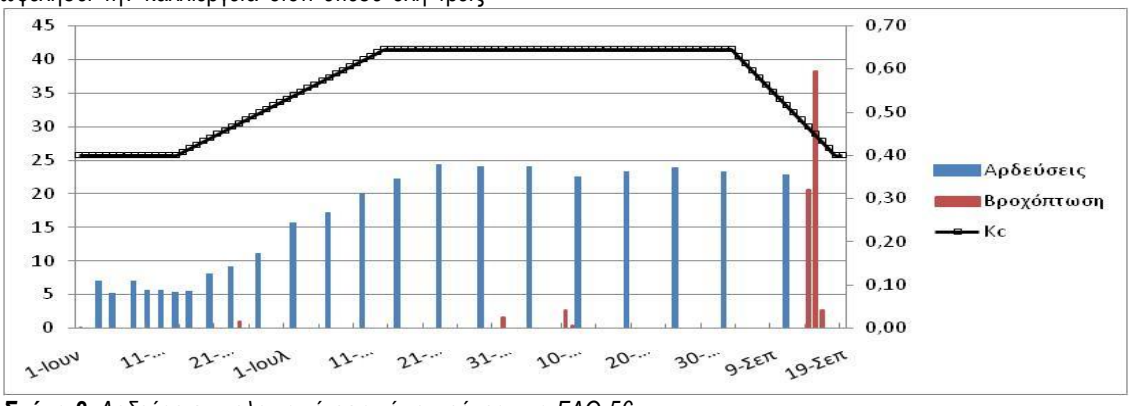
Στάδιο	**1**	**2**	**3**	**4**	**Σύνολο**
Μήκος σταδίου (ημέρες)	15	30	50	15	**110**
ET_c (mm)	36,30	103,59	184,04	26,72	**350,65**

Αμέσως μετά τη μεταφύτευση ακολούθησε άρδευση όλων των πειραματικών τεμαχίων με περίπου 15 mm νερού. Στη συνέχεια, όλα τα πειραματικά τεμάχια αρδεύονταν μόλις εξαντλούνταν η ωφέλιμη υγρασία με σύστημα στάγδην άρδευσης. Συνολικά εφαρμόστηκαν 350 και 262 mm νερού αντίστοιχα στις μεταχειρίσεις άρδευσης αντίστοιχα. Χρησιμοποιήθηκε το πειραματικό σχέδιο των υπο-υποδιαιρεμένων πλήρων ομάδων με 4 επαναλήψεις.

Μετά τη μεταφύτευση της στέβιας έγινε άρδευση για το φύτρωμα της καλλιέργειας, με απλούς εκτοξευτήρες και δόση άρδευσης 15 mm. Η συνολική βροχόπτωση κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου ανήλθε σε 67,6 mm χωρίς να ωφελήσει την καλλιέργεια διότι έπεσε όλη τρείς ημέρες πριν την συγκομιδή όπως χαρακτηριστικά φαίνεται στο σχήμα 3.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

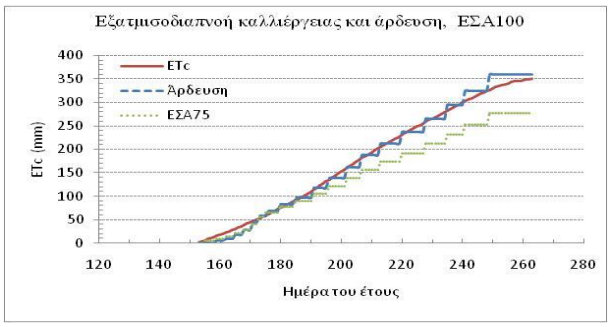
Το σχήμα 2, δείχνει πως προγραμματίστηκαν οι αρδεύσεις με βάση το πρόγραμμα του FAO-56, τον φυτικό συντελεστή της καλλιέργειας και την ωφέλιμη βροχόπτωση. Παρατηρούμε ότι έγιναν 22 αρδεύσεις με μικρές δόσεις επειδή η στέβια έχει μικρού βάθους ριζικό σύστημα και θεωρείται καλλιέργεια χαμηλών απαιτήσεων σε αρδευτικό νερό.



Σχήμα 2. *Αρδεύσεις υπολογισμένες από το πρόγραμμα FAO-56*

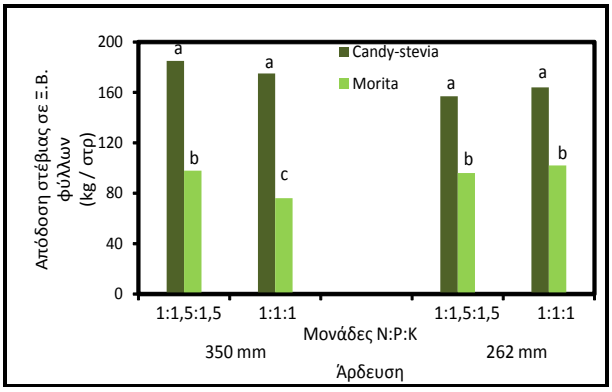
Το Σχήμα 3 δείχνει αθροιστικά το ύψος της άρδευσης σε κάθε μεταχείριση σε σχέση με την εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η απόδοση των δύο ποικιλιών στέβιας δεν επηρεάστηκε σημαντικά από τα επίπεδα άρδευσης και λίπανσης, με εξαίρεση την ποικιλία 'Candy-stevia', της οποίας η απόδοση (185 kg/στρ) αυξήθηκε όταν λιπάνθηκε με αναλογία 1:1,5:1,5 λιπαντικών μονάδων N:P:K και δέχθηκε το100% της ET_c νερού με την άρδευση (Σχήμα 5). Γενικά, η

απόδοση της ποικιλίας 'Morita' ήταν μικρότερη κατά 44% από εκείνη της ποικιλίας 'Candy-stevia', κυρίως λόγω της μικρότερης συνολικής βιομάζας της καλλιέργειας. Οι αποδόσεις που επιτεύχθηκαν κατά το πρώτο έτος της καλλιέργειας ήταν περίπου στο 50% της μέσης απόδοσης σε παγκόσμιο επίπεδο (Ramesh κ.α., 2006). Αυτό το γεγονός, οφείλεται στις ιδιαίτερα υψηλές και παρατεταμένες θερμοκρασίες που επικράτησαν την καλοκαιρινή περίοδο του 2012 όπως χαρακτηριστικά φαίνονται στο Σχήμα 4.



Σχήμα 3. *Συνολικό ύψος άρδευσης ανά μεταχείριση του πειράματος σε σχέση με την εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας*

Σχήμα 4. *Μέγιστη θερμοκρασία αέρα*



Σχήμα 5. *Επίδραση της άρδευσης και της αναλογίας N, P και K ως βασική λίπανση στην απόδοση σε ξηρά φύλλα δύο ποικιλιών στέβιας που καλλιεργήθηκαν το 2012 στη Λάρισα.*

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η καλλιέργεια της στέβιας στην περιοχή της Λάρισας μπορεί να επιτευχθεί με σχετικά μικρές απαιτήσεις σε άρδευση, με την προϋπόθεση ότι εφαρμόζονται μικρές ποσότητες νερού ανά τακτά χρονικά διαστήματα. Η αναλογία λιπαντικών μονάδων των τριών κύριων θρεπτικών στοιχείων (N, P, K) δεν επηρεάζει σημαντικά την απόδοση σε βιομάζα, τουλάχιστον κατά το πρώτο έτος της καλλιέργειας. Η ποικιλία 'Candy-stevia' δίνει μεγαλύτερες αποδόσεις σε ξηρή βιομάζα φύλλων από ό,τι η ποικιλία 'Morita', κυρίως λόγω της μεγαλύτερης απόδοσης σε συνολική βιομάζα. Μεθοδολογία προσδιορισμού της συγκέντρωσης των γλυκαντικών συστατικών στεβιοσίδη και ρεμπαουδιοσίδη στα φύλλα της στέβιας, καθώς και μεθοδολογία παραλαβής των ουσιών αυτών σε κρυσταλλική μορφή, έχουν αναπτυχθεί από το Τμήμα Μηχανικής Βιοσυστημάτων του Τ.Ε.Ι. Λάρισας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Περιοδικά

Novak, B., Benko, B., Spicnagel, A.M., Fabek, S. and Mesic, M. 2012. Yield, nitrate and steviol content of stevia (Stevia rebaudiana Bertoni) leaves as affected by fertilization rate. Acta Horticulturae 939: 249-254.

Ramesh, K., V. Singh, and N.W. Megeji. 2006. Cultivation of stevia [Stevia rebaudiana (Bert.) Bertoni]: A comprehensive review. Advances in Agronomy 89: 137-177.

Soejarto, D.D., C.M. Compardre, P.J. Medon, S.K. Kamath, and A.D. Kinghorn. 1983. Potential sweetening agents of plant origin. II. Field search for sweet-tasting stevia species. Economic Botany 37: 71-75.

Taleie N., Hamidoghli Y., Rabiei B., Hamidoghli S. 2012. Effects of plant density and transplanting date on herbage, stevioside, phenol and flavonoid yield of Stevia *rebaudiana* Bertoni. Intl J Agra Crop Sci. Vol.. 4 (6). 298-302.

Κεφάλαια Βιβλίων

Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D. and Smith, M., 1998. Crop Evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper No 56, FAO, Rome.

Λόλας Π. 2009. Καλλιέργεια στέβιας. Το φυτό, Ιδιότητες, χρήσεις, έρευνα στην Ελλάδα. Πανεπιστημιακές εκδόσεις Θεσσαλίας, Βόλος.

Παπαζαφειρίου Ζ. Γ. 1984. Αρχές και Πρακτική των Αρδεύσεων, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη.

ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΑΡΔΕΥΤΙΚΕΣ ΑΝΑΓΚΕΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

Δημήτρης Κ. Παπαναστασίου[1], Θωμάς Μπαρτζάνας[1], Ιωάννης Τσιρογιάννης[2], Πηνελόπη Μπαλτζώη[2], Κωνσταντίνος Κίττας[3]

[1]Εθνικό Κέντρο Έρευνας και Τεχνολογικής Ανάπτυξης, Ινστιτούτο Έρευνας και Τεχνολογίας Θεσσαλίας, Α΄ ΒΙ.ΠΕΒόλου, Τ.Θ. 15, Τ.Κ. 38500, Βόλος

[2]ΤΕΙ Ηπείρου, Τμήμα Ανθοκομίας και Αρχιτεκτονικής Τοπίου, 47100, Κωστακιοί Άρτα

[3]Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, Οδός Φυτόκου, Τ.Κ. 38446, Ν. Ιωνία Μαγνησίας

Εκτιμάται η αύξηση στις ανάγκες για άρδευση που θα προκύψει στο μέλλον, εν όψη κλιματικής αλλαγής στην Περιφέρεια Θεσσαλίας. Στους υπολογισμούς χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα θερμοκρασίας και βροχόπτωσης από σταθμούς της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας, και εκτιμήσεις για την μεταβολή των δύο αυτών μεγεθών στο μέλλον. Εξετάστηκαν τρεις περίοδοι: 1958–2010, 2040–2059 και 2080–2099. Για τον υπολογισμό των αρδευτικών αναγκών ελήφθησαν υπόψη η δυνητική εξατμισοδιαπνοή κάθε καλλιέργειας, η ωφέλιμη βροχόπτωση και η αναλογία κάθε καλλιέργειας στο τυπικό στρέμμα κάθε Νομού. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι στους τέσσερις Νομούς της Περιφέρειας Θεσσαλίας αναμένεται αύξηση 10,2%–12,6% και 15,8%–18,8% στις πραγματικές ανάγκες για άρδευση το μήνα Ιούλιο τις περιόδους 2040–2059 και 2080–2099, αντίστοιχα, σε σχέση με τις ανάγκες της περιόδου 1958–2010. Κατόπιν προτείνονται κάποιες τεχνικές που θα μπορούσαν να εφαρμοστούν ώστε να μειωθούν οι ανάγκες για άρδευση και να εξοικονομηθούν φυσικοί πόροι (χρήση τεχνολογιών γεωργίας ακριβείας για τη μείωση της ποσότητας του αρδευόμενου νερού, επέκταση των καλλιεργειών υπό κάλυψη για την αύξηση της αποτελεσματικότητας της χρήσης νερού).

Λέξεις κλειδιά: κλιματική αλλαγή, άρδευση, νερό, εξατμισοδιαπνοή, Θεσσαλία

FUTURE IRRIGATION NEEDS IN THE REGION OF THESSALY

Dimitris K. Papanastasiou[1], Thomas Bartzanas[1], Ioannis Tsirogiannis[2], Penelope Mpaltzoi[2], Constantinos Kittas[3]

[1]Centre for Research and Technology Hellas, Institute for Research and Technology – Thessaly, 1st Industrial Area of Volos, P.O. Box 15, Volos, GR-38500

[2]TEI of Epirus, Dept. of Floriculture and Landscape Architecture, 47100 Kostakii Arta

[3]University of Thessaly, Department of Agriculture Crop Production and Rural Environment, Fytokou Str., N. Ionia, Magnisia, GR-38446

The increase in irrigation needs that will arise in the future in the Region of Thessaly due to climate change was estimated. Temperature and rainfall data collected from stations operated by the National Meteorological Service and projections for the future change of these two parameters were exploited in this study. Three periods were examined: 1958–2010, 2040–2059 and 2080–2099. The estimation of irrigation needs was based on the potential evapotranspiration for each crop, the effective rainfall and the proportion of each crop in the typical acre of every prefecture. The results showed that in the four prefectures of Thessaly an increase of 10.2%-12.6% and 15.8%-18.8% in the real irrigation needs in July in the periods 2040–2059 and 2080–2099 is expected, respectively, relative to the needs of the period 1958–2010. Then, some techniques that could be applied to reduce the irrigation needs and to save natural resources are proposed (i.e. application of precision agriculture technologies to reduce the quantity of irrigation water, spread of cultivations under cover to increase water efficiency).

Keywords: climate change, irrigation, water, evapotranspiration, Thessaly

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η κλιματική αλλαγή θεωρείται ως μία από τις σοβαρότερες περιβαλλοντικές, κοινωνικές και οικονομικές προκλήσεις που αντιμετωπίζει ο πλανήτης μας. Η γεωργία ανήκει σε εκείνους τους τομείς που θα επηρεαστούν περισσότερο λόγω της εξάρτησής της από τις καιρικές συνθήκες, με τις ενδείξεις για τη σοβαρότητα των επιπτώσεων να γίνονται όλο και πιο ανησυχητικές (Parry et al., 2001). Οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στη γεωργία είναι ποικίλες (απώλεια καλλιεργήσιμης γης, σμίκρυνση καλλιεργητικών περιόδων, βιωσιμότητα ορισμένων καλλιεργειών, μείωση υδατικών αποθεμάτων, κ.α.). Οι καταστάσεις αυτές αναμένεται να προκαλέσουν σοβαρές οικονομικές επιπτώσεις (αύξηση τιμών, αλλαγές στο εμπορικό ισοζύγιο μεταξύ των διαφόρων χωρών, κ.α.), καθώς και σοβαρές κοινωνικές επιπτώσεις (π.χ. πρόκληση επισιτιστικών προβλημάτων λόγω μείωσης των αποθεμάτων των ειδών διατροφής) (EEA, 2008; Lobell et al., 2008; Stern, 2007). Για τους λόγους αυτούς κρίνεται απαραίτητο να προσδιοριστούν οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής ώστε να ληφθούν αν είναι εφικτό κάποια μέτρα προσαρμογής και μετριασμού των επιπτώσεων.

Οι αρδευτικές ανάγκες των καλλιεργειών καθορίζονται κυρίως από την εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας, αλλά και από χαρακτηριστικά του εδάφους (υδατοϊκανότητα, διηθητικότητα, σημείο μόνιμης μάρανσης, φαινόμενο ειδικό βάρος, βάθος

αξιοποίησης και ποσοστό αξιοποίησης του εδάφους από το ριζικό σύστημα). Η εξατμισοδιαπνοή εξαρτάται από τις κλιματικές συνθήκες (ένταση ηλιακής ακτινοβολίας και διάρκεια έκθεσης σ' αυτή, θερμοκρασία, υγρασία, άνεμος), από τον τύπο του εδάφους και την περιεκτικότητά του σε υγρασία, το είδος και το βαθμό ανάπτυξης της χλωρίδας, το ποσοστό του εδάφους που καλύπτεται από αυτή (Monteith, 1973). Ενδεχόμενη μείωση του διαθέσιμου στο φυτό νερού μπορεί να οδηγήσει σε καταστάσεις υδατικής καταπόνησης, διότι η αύξηση της ξηρότητας του αέρα γύρω από την καλλιέργεια ίσως να μην μπορεί να αντισταθμιστεί με την απελευθέρωση ισόποσης λανθάνουσας ενέργειας από την καλλιέργεια, μέσω της διαπνοής (Κατσούλας, 2002). Επίσης, μείωση του διαθέσιμου νερού μπορεί να οδηγήσει και σε μειωμένη φωτοσυνθετική δραστηριότητα (Acock et al., 1976) αλλά και σε μειωμένη ικανότητα απορρόφησης θρεπτικών στοιχείων (Ehret and Ho, 1986).

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να εκτιμηθεί η αύξηση στις ανάγκες για άρδευση που θα προκύψει κατά τη διάρκεια δύο μελλοντικών εικοσαετιών (2040–2059 και 2080–2099) σε σχέση με τις ανάγκες της περιόδου 1958–2010.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1. Μετεωρολογικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκαν μετεωρολογικά δεδομένα που καταγράφηκαν σε σταθμούς της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας στην Περιφέρεια Θεσσαλίας. Πιο συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκε η μέση τιμή της θερμοκρασίας και το μέσο ύψος βροχόπτωσης που καταγράφηκε το μήνα Ιούλιο κατά την περίοδο 1958–2010 σε Αγχίαλο (22ο48΄Α, 39ο13΄Β), Καρδίτσα (21ο48΄Α, 39ο22΄Β), Λάρισα (22ο25΄Α, 39ο38΄Β) και Τρίκαλα (21ο46΄Α, 39ο33΄Β) (Πίνακας 1).

2.2. Εκτίμηση για μελλοντικές τιμές θερμοκρασίας και βροχόπτωσης

Η εκτίμηση για τις μελλοντικές τιμές της θερμοκρασίας και της βροχόπτωσης αντλήθηκε από τα αποτελέσματα του ερευνητικού προγράμματος ENSEMBLES (Van der Linden and Mitchell, 2009). Στο πλαίσιο αυτού του προγράμματος αναπτύχθηκε ένα σύστημα το οποίο λαμβάνει υπόψη τα χαρακτηριστικά, τα αποτελέσματα και τις αβεβαιότητες πληθώρας κλιματικών μοντέλων και υπολογίζει τις αλλαγές στη θερμοκρασία και στη βροχόπτωση που εκτιμά ότι θα παρατηρηθούν στην επιφάνεια της Γης τις δεκαετίες του 21ου αιώνα. Οι εκτιμήσεις βασίζονται στο σενάριο εκπομπών A1B του IPCC και έχουν χωρική ανάλυση 300 x 300 km^2. Για τις εκτιμήσεις αυτές ως περίοδος αναφοράς θεωρείται η περίοδος 1961–1990. Μεταξύ των αποτελεσμάτων περιλαμβάνονται και εκτιμήσεις για τη μεταβολή του 50ου εκατοστημορίου της κατανομής των τιμών της θερμοκρασίας κοντά στο έδαφος (σε ύψος 1,5 m) και της βροχόπτωσης για την περίοδο του καλοκαιριού, για τις χρονικές περιόδους 2040–2059 και 2080–2099. Η μεταβολή του 50ου εκατοστημορίου της κατανομής της θερμοκρασίας και της βροχόπτωσης θεωρήθηκε ως η μεταβολή που θα προκληθεί στην μέση τιμή της θερμοκρασίας και στο μέσο ύψος της βροχόπτωσης, αντίστοιχα. Οι εκτιμήσεις αυτές φαίνονται στον Πίνακα 2.

Πίνακας 1. Μετεωρολογικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν.

Σταθμός	Μέση Τιμή Θερμοκρασίας (ºC)	Μέσο Ύψος Βροχόπτωσης (mm)
Αγχιάλου	26,96	18,93
Καρδίτσας	26,24	18,63
Λάρισας	27,35	19,65
Τρικάλων	27,75	16,03

Πίνακας 2. Εκτιμήσεις για τη μεταβολή της θερμοκρασίας και της βροχόπτωσης στο μέλλον.

Παράμετρος	Περίοδος	
	2040 – 2059	2080 – 2099
50ο εκατοστημόριο κατανομής θερμοκρασίας (ºC)	4	6,5
50ο εκατοστημόριο κατανομής βροχόπτωσης (%)	-25	-35

Πίνακας 3. Τιμή του φυτικού συντελεστή για κάθε καλλιέργεια.

Είδος Καλλιέργειας	Φυτικός Συντελεστής
Εσπεριδοειδή, Ελιές, Αμπέλια	0,55
Καπνά ανατολικού τύπου, Σανός	0,60
Οπωροφόρα, Ακρόδρυα, Όσπρια, Βαμβάκι, Φράουλες, Άνθη, Αβοκάντο	0,65
Καπνά δυτικού τύπου, Κηπευτικά, Μποστανικά, Πατάτες, Ηλίανθος, Ζαχαρότευτλα	0,70
Σιτηρά, Αραβόσιτος, Σόργο, Γρασίδια, Λεύκες	0,75
Τριφύλλι, Τεχνητοί λειμώνες, Ακτινίδιο	0,80
Μηδική	0,85

2.3. Υπολογισμός δυνητικής εξατμισοδιαπνοής

Η δυνητική εξατμισοδιαπνοή υπολογίστηκε με τη μέθοδο Blaney-Criddle (σχέση 1) (Allen and Pruitt, 1986; Blaney and Criddle, 1950; Palutikov et al., 1994). Στη σχέση 1, ET_{Pi} είναι η μηνιαία τιμή της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής σε mm για κάθε καλλιέργεια, K_{Ci} είναι η τιμή του φυτικού συντελεστή κάθε καλλιέργειας (Πίνακας 3) (Allen et al., 1998; Παπαζαφειρίου, 1999), θ είναι η μέση μηνιαία τιμή της θερμοκρασίας του αέρα σε ºC και p είναι το μηνιαίο ποσοστό (%) ωρών ημέρας επί των ωρών ημέρας του έτους. Από σχετικούς πίνακες προκύπτει ότι για γεωγραφικό πλάτος 39ο, για το μήνα Ιούλιο, p = 10,16%. Αξίζει να σημειωθεί ότι θεωρήθηκε ότι οι τιμές του φυτικού συντελεστή κάθε καλλιέργειας

παραμένουν σταθεροί παρά τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής.

$$ET_{Pi} = K_{Ci} \cdot \frac{(\theta + 18) \cdot p}{2,2} \quad (1)$$

2.4. Υπολογισμός αναγκών για άρδευση

Οι ανάγκες για άρδευση χωρίς απώλειες των διαφόρων καλλιεργειών υπολογίστηκαν από τη σχέση 2, όπου A_i είναι οι μηνιαίες ανάγκες για άρδευση χωρίς απώλειες κάθε καλλιέργειας σε mm, δηλαδή σε m^3 / στρέμμα και R' είναι η μηνιαία τιμή της ωφέλιμης βροχόπτωσης σε mm. Η R' υπολογίστηκε από την εμπειρική σχέση 3, στην οποία R είναι η πραγματική τιμή της μηνιαίας βροχόπτωσης σε mm, η οποία θεωρήθηκε ίση με τη μηνιαία μέση τιμή της βροχόπτωσης, και c είναι ένας συντελεστής που παίρνει τιμές από 10 έως 20 και σχετίζεται με το υψόμετρο και την κλίση της περιοχής. Σε όλες τις περιπτώσεις θεωρήθηκε c = 12.

$$A_i = ET_{Pi} - R' \quad (2)$$

$$R' = R - \left(c + \frac{R}{8}\right) \quad (3)$$

Στη συνέχεια, υπολογίστηκαν οι μηνιαίες αρδευτικές ανάγκες χωρίς απώλειες κάθε καλλιέργειας, A_i', λαμβάνοντας υπόψη την αναλογία της κάθε καλλιέργειας στο τυπικό στρέμμα κάθε Νομού, s (σε %), (σχέση 4). Στοιχεία για την s παρουσιάζονται στον Πίνακα 4. Τέλος, αφού ελήφθησαν υπόψη οι ανάγκες σε νερό στην κεφαλή του δικτύου (τεχνητή βροχή και μικροαρδεύσεις), προέκυψαν με πρόσθεση οι συνολικές πραγματικές ανάγκες για άρδευση όλων των καλλιεργειών σε κάθε Νομό, A_{total}, σε m^3 / στρέμμα.

$$A_i' = A_i \cdot \frac{s}{100} \quad (4)$$

Πίνακας 4. Ποσοστιαία αναλογία κάθε καλλιέργειας για κάθε Νομό.

Είδος Καλλιέργειας	Περίοδος Άρδευσης	Νομός			
		Καρδίτσας	Λάρισας	Μαγνησίας	Τρικάλων
Χειμερινά σιτηρά*	15/4 - 15/5	22,9	48,5	38,7	24,3
Αραβόσιτος	01/5 - 31/8	7,6	4,5	2,2	19,6
Βαμβάκι	15/5 - 20/8	56,6	28,5	14,5	26,3
Βρώσιμα όσπρια	15/5 - 31/8	0,2	0,7	-	0,9
Ζαχαρότευτλα	01/5 - 15/9	0,1	0,6	0,2	-
Βιομ. Τομάτα	01/5 - 15/8	0,4	1,4	0,6	-
Μηδική	01/5 - 30/9	5,5	1,9	2,0	12,3
Κηπευτικά υπαίθρου	01/5 - 30/9	0,9	0,4	1,7	2,7
Εσπεριδοειδή	1/5 - 30/9	-	-	0,1	-
Ελιές	1/6 - 30/9	0,1	3,6	27,6	2,2
Αμπέλια	1/5 - 30/9	1,1	1,7	0,7	1,5
Καπνός	15/5 - 15/8	-	0,3	-	0,1
Οπωροφόρα	15/5 - 30/9	-	2,1	3,9	0,5
Μποστανικά	1/5 - 15/8	0,6	0,4	0,2	2,3
Ακρόδρυα	15/5 - 30/9	0,2	2,8	5,0	1,0
Πατάτες	15/5 - 31/8	0,3	0,3	0,1	0,4
Τεχνητοί λειμώνες*	1/4 - 30/6	1,2	0,4	0,4	3,6
Λοιπά κτηνοτροφικά*	1/4 - 30/6	2,3	1,9	2,1	2,3

*Δεν αρδεύονται το μήνα Ιούλιο

2.5. Παραδοχές

Τα ποσοστά των μεταβολών των αρδευτικών αναγκών που υπολογίστηκαν θα πρέπει να θεωρηθούν υπερεκτιμημένα, οπότε οι μεταβολές αναμένονται να είναι μικρότερες. Αυτό οφείλεται στο ότι οι εκτιμήσεις για τη μεταβολή της θερμοκρασίας και της βροχόπτωσης στο μέλλον (Πίνακας 2) έχουν γίνει, όπως έχει ήδη αναφερθεί, λαμβάνοντας ως χρόνο αναφοράς την περίοδο 1961–1990, ενώ οι μεταβολές στην παρούσα μελέτη υπολογίστηκαν σε σχέση με την περίοδο 1958–2010. Επομένως, αν στην περίοδο αναφοράς είχε προστεθεί επιπλέον και η περίοδος 1991–2010, τότε οι μελλοντικές εκτιμήσεις θα ήταν μικρότερες σε μέγεθος. Επιπλέον, δεν ελήφθησαν υπόψη πιθανές αλλαγές στις διάφορες αγροτικές εργασίες, όπως στη σπορά, στο χρόνο συγκομιδής, στην ποσότητα και στη συχνότητα των αρδεύσεων και των λιπάνσεων, κ.λ.π., καθώς και πιθανές επιπτώσεις της ερημοποίησης στην απόδοση των καλλιεργειών.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

3.1. Εκτίμηση μελλοντικών αναγκών άρδευσης

Τα μετεωρολογικά δεδομένα του Πίνακα 1 χρησιμοποιήθηκαν στις σχέσεις 1 και 3 για τον προσδιορισμό της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής κάθε καλλιέργειας, ET_{Pi}, και της ωφέλιμης βροχόπτωσης, R', για το μήνα Ιούλιο. Στη συνέχεια υπολογίστηκαν οι ποσότητες A_i, A_i' και A_{total}. Η παραπάνω διαδικασία επαναλήφθηκε μεταβάλλοντας τις τιμές της θερμοκρασίας και της βροχόπτωσης στις

σχέσεις 1 και 3 αντίστοιχα, σύμφωνα με τις μελλοντικές εκτιμήσεις (Πίνακας 2).

Ο Πίνακας 5 δείχνει ότι οι συνολικές πραγματικές ανάγκες για άρδευση το μήνα Ιούλιο την περίοδο 2040–2059 αναμένεται να αυξηθούν από 10,2% έως 12,6% σε σχέση με τις ανάγκες της περιόδου 1958–2010. Επιπλέον αύξηση των συνολικών πραγματικών αναγκών από 5,0% έως 5,7% αναμένεται να παρατηρηθεί την περίοδο 2080–2099 σε σχέση με την περίοδο 2040–2059. Ακόμη, ο Πίνακας 5 φανερώνει ότι οι συνολικές πραγματικές ανάγκες για άρδευση είναι μεγαλύτερες και θα συνεχίσουν να είναι στους Νομούς Τρικάλων και Καρδίτσας, ενώ είναι και θα είναι αρκετά μικρότερες στους Νομούς Μαγνησίας και Λάρισας.

Στον Πίνακα 6 φαίνονται οι ανάγκες για άρδευση χωρίς απώλειες ανά καλλιέργεια και ανά νομό το μήνα Ιούλιο για τις περιόδους 1958–2010 και 2040–2059 (στήλες Α και Β, αντίστοιχα). Από τον Πίνακα αυτόν προκύπτει ότι στο Νομό Τρικάλων το 85% του νερού καταναλώνεται για άρδευση καλλιεργειών αραβόσιτου, βαμβακιού και τριφυλλιού, ενώ στο Νομό Καρδίτσας το 75% του νερού καταναλώνεται για άρδευση καλλιεργειών βαμβακιού.

Πίνακας 5. Συνολικές πραγματικές ανάγκες για άρδευση, A_{total} , (m^3 / στρέμμα) για το μήνα Ιούλιο σε κάθε Νομό και μεταβολές αυτών.

	Νομός			
	Καρδίτσας	**Λάρισας**	**Μαγνησίας**	**Τρικάλων**
1958–2010				
A_{total}	121,4	76,5	81,1	126,6
2040–2059				
A_{total}	136,5	86,0	91,3	139,5
% μεταβολή στο μέγεθος A_{total} σε σχέση με την περίοδο 1958–2010	12,4	12,4	12,6	10,2
2080–2099				
A_{total}	143,7	90,8	96,3	146,5
% μεταβολή στο μέγεθος A_{total} σε σχέση με την περίοδο 1958–2010	18,4	18,8	18,7	15,8
% μεταβολή στο μέγεθος A_{total} σε σχέση με την περίοδο 2040–2059	5,3	5,7	5,4	5,0

Πίνακας 6. Ανάγκες για άρδευση χωρίς απώλειες (m^3 / στρέμμα) ανά καλλιέργεια, A_i' , ανά νομό, το μήνα Ιούλιο την περίοδο 1958–2010 (στήλη Α) και 2040–2059 (στήλη Β).

Είδος Καλλιέργειας	**Νομός**							
	Καρδίτσας		**Λάρισας**		**Μαγνησίας**		**Τρικάλων**	
	Α	**Β**	**Α**	**Β**	**Α**	**Β**	**Α**	**Β**
Αραβόσιτος	11,3	12,7	6,8	7,7	3,3	3,7	30,7	33,8
Βαμβάκι	72,7	81,8	37,3	42,0	18,9	21,2	35,6	39,3
Βρώσιμα Όσπρια	0,3	0,3	1,0	1,1			1,3	1,4
Ζαχαρότευτλα	0,1	0,2	0,8	1,0	0,3	0,3		
Βιομ. Τομάτα	0,6	0,6	2,0	2,2	0,8	0,9		
Μηδική	9,3	10,4	3,3	3,7	3,4	3,8	21,8	24,0
Κηπευτικά υπαίθρου	1,2	1,4	0,6	0,6	2,4	2,7	3,9	4,3
Εσπεριδοειδή					0,1	0,1		
Ελιές	0,1	0,1	4,0	4,5	30,3	34,2	2,5	2,8
Αμπέλια	1,2	1,3	1,9	2,1	0,8	0,9	1,7	1,9
Καπνός			0,4	0,4			0,1	0,1
Οπωροφόρα			2,7	3,1	5,1	5,7	0,7	0,7
Μποστανικά	0,8	0,9	0,6	0,6	0,3	0,3	3,4	3,7
Ακρόδρυα	0,3	0,3	3,7	4,1	6,5	7,3	1,4	1,5
Πατάτες	0,4	0,5	0,4	0,5	0,1	0,2	0,6	0,6

3.2. Προτάσεις για τη μείωση των αναγκών άρδευσης

Αναμφίβολα, η αξιοποίηση του υπάρχοντος αρδευτικού νερού με τον καλύτερο δυνατό τρόπο (π.χ. μείωση απωλειών, νυχτερινή άρδευση), η χρήση της ελλειμματικής άρδευσης, καθώς και η τροποποίηση των καλλιεργειών και η στροφή προς καλλιέργειες με χαμηλότερες απαιτήσεις σε νερό, θα οδηγούσαν σε μείωση της ποσότητας του νερού που καταναλώνεται για άρδευση. Όμως, υπάρχουν και τεχνικές που αν εφαρμοστούν σωστά μπορούν να οδηγήσουν σε μείωση της κατανάλωσης νερού.

Η γεωργία ακριβείας είναι μια σύγχρονη προσέγγιση στη διαχείριση των αγρών και των

γεωργικών εκμεταλλεύσεων, που έχει ως σκοπό τη βελτιστοποίηση τόσο της ποιότητας όσο και της απόδοσης των αγροτικών καλλιεργειών. Η δημιουργία ζωνών διαχείρισης των αγροτεμαχίων αποτελεί τη βάση εφαρμογής της γεωργίας ακριβείας. Παρέχει τη δυνατότητα για εφαρμογή μεταβλητών καλλιεργητικών φροντίδων, μεταξύ των οποίων είναι και η άρδευση, για κάθε τμήμα του αγρού, ανάλογα με τις πραγματικές του, ανά περιοχή, ανάγκες. Έτσι, με τη χρήση τεχνικών γεωργίας ακριβείας δεν θα αρδεύεται με την ίδια δόση άρδευσης όλο το τμήμα ενός αγρού, αλλά σύμφωνα με τις ζώνες διαχείρισης, η άρδευση σε κάθε ζώνη – τμήμα του αγρού θα είναι ανάλογη των πραγματικών απαιτήσεων για νερό. Η εξοικονόμηση χρήσης υδάτινων πόρων με τη χρήση γεωργίας ακριβείας μπορεί να φτάσει και το 20%.

Οι καλλιέργειες υπό κάλυψη είναι το κατεξοχήν καλλιεργητικό σύστημα με το οποίο περιορίζεται δραστικά η κατανάλωση του νερού. Η χρήση δε υδροπονικών συστημάτων στα οποία το νερό ανακυκλώνεται και επαναχρησιμοποιείται (ημίκλειστα ή κλειστά υδροπονικά συστήματα) μπορεί να οδηγήσει σε ακόμα μεγαλύτερη εξοικονόμηση νερού. Είναι χαρακτηριστικό ότι η αποτελεσματικότητα της χρήσης του νερού, δηλαδή τα kg προϊόντος που παράγονται ανά m^3 χρήσης νερού, μπορεί ακόμη και να τετραπλασιαστεί σε κλειστό υδροπονικό σύστημα σε θερμοκήπιο, σε σχέση με την αποτελεσματικότητα σε ανοιχτό αγρό. Αύξηση της αποτελεσματικότητας χρήσης νερού συνεπάγεται καλύτερη αξιοποίηση των διαθέσιμων υδάτινων πόρων, άρα και εξοικονόμησή τους. Επίσης, τα τελευταία χρόνια, σε συνδυασμό και με τη δυσκολία αντιμετώπισης εχθρών κατά την καλοκαιρινή περίοδο, εφαρμογή βρίσκει και η χρήση διχτυοκηπίων, είτε απλά ως κάλυψη των καλλιεργειών, είτε ως απλές μεταλλικές κατασκευές πλήρως καλυμμένες με δίχτυ. Λόγω της μείωσης της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας μειώνονται σημαντικά και οι ανάγκες σε νερό των καλλιεργειών.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα εργασία εκτιμήθηκαν οι μελλοντικές ανάγκες για άρδευση των αγροτικών καλλιεργειών το μήνα Ιούλιο στους τέσσερις Νομούς της Περιφέρειας Θεσσαλίας μέσω της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής (μέθοδος Blaney-Criddle) και της ωφέλιμης βροχόπτωσης, λαμβάνοντας υπόψη την αναλογία της κάθε καλλιέργειας στο τυπικό στρέμμα κάθε Νομού. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι πραγματικές ανάγκες για άρδευση εκτιμάται ότι θα αυξηθούν από 10,2% έως 12,6% και από 15,8% έως 18,8% τις περιόδους 2040 – 2059 και 2080 – 2099, αντίστοιχα, σε σχέση με τις πραγματικές ανάγκες για άρδευση της περιόδου 1958 – 2010. Το γεγονός αυτό καθιστά απαραίτητο τη λήψη προσαρμοστικών προς την κλιματική αλλαγή μέτρων, στα οποία συμπεριλαμβάνονται τόσο η αναδιάρθρωση των καλλιεργειών, όσο και η εφαρμογή τεχνικών εξοικονόμησης νερού, όπως είναι η γεωργία ακριβείας και οι καλλιέργειες υπό κάλυψη.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Acock, B., Charles-Edwards, D.A., Hand, D.W., 1976. An analysis of some effects of humidity on photosynthesis by a tomato canopy under winter light conditions and a range of carbon dioxide concentrations. J. Exp. Bot., 27(100):933–941

Allen, R.G., Pruitt, W.O., 1986. Rational use of the FAO Blaney-Criddle formula. J. Irrig. Drain. E., 112(2):139–155

Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M., 1998. Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements - FAO Irrigation and drainage paper 56. FAO, Rome, 290 pp

Blaney, H.F., Criddle, W.D., 1950. Determining water requirements in irrigated areas from climatological and irrigation data. USDA (ARS) Technical Bulletin, 1215

Ehret, D.L., Ho, L.C., 1986. Translocation of calcium in relation to tomato fruit growth. Ann. Bot., 58:679–688

European Environmental Agency (EEA), 2008. Impacts of Europe's Changing Climate – 2008 Indicator-based Assessment. Joint EEAJRC-WHO report, EEA Report No. 4/2008, JRC Reference Report No. JRC47756

Κατσούλας, Ν., 2002. Επίδραση των παραγόντων του περιβάλλοντος στη διαπνοή τριανταφυλλιάς υπό κάλυψη. Διδακτορική Διατριβή, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, 220pp

Lobell, D.B., Burke, M.B., Tebaldi, C., Mastrandrea, M.D., Falcon, W.P., Naylor, R.L., 2008. Prioritizing climate change adaptation needs for food security in 2030. Science, 319:607–610

Monteith, J.L., 1973. Principles of environmental Physics. Contemporary Biology, Edward Arnold, London, UK, 241pp

Palutikof, J.P., Goodess, C.M., Guo, X., 1994. Climate change, potential evapotranspiration and moisture availability in the Mediterranean basin. Int. J. Climatol., 14:853–869

Παπαζαφειρίου, Ζ.Γ., 1999. Οι ανάγκες των καλλιεργειών σε νερό. Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη.

Parry, M.L., Arnell, N.W., McMichael, A.J., Nicholls, R.J., Martens, P., Kovats, R.S., Livermore, M.T.J., Rosenzweig, C., Iglesias, A., Fischer, G., 2001. Millions at risk: defining critical climate change threats & targets. Global Environ. Chang., 11(3):181–183

Stern, N., 2007. The Economics of Climate Change: The Stern Review. Cambridge University Press, Cambridge.

Van der Linden, P., Mitchell, J.F.B. (eds.), 2009. ENSEMBLES: Climate Change and its Impacts: Summary of research and results from the ENSEMBLES project. Met Office Hadley Centre, FitzRoy Road, Exeter EX1 3PB, UK. 160pp

8^{Ο} ΕΘΝΙΚΟ ΣΥΝΕΔΡΙΟ ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ

ΜΕΤΑΣΥΛΛΕΚΤΙΚΗ / ΜΕΤΑΣΥΓΚΟΜΙΣΤΙΚΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΜΕΝΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ ΣΤΟΥΣ ΠΟΙΟΤΙΚΟΥΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΕΣ ΤΟΜΑΤΑΣ "ΕΛΠΙΔΑ"

Π. Μουζάκης, Μ. Σάββας, Γ. Ξανθόπουλος, Ε. Αραβαντινός-Καρλάτος και Γρ. Λαμπρινός
Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Α.Φ.Π. & Γ.Μ., Ιερά Οδός 75, Τ.Κ. 11855, Αθήνα, Τηλ. 210 529 4029, Fax. 210 529 4032, e–mail: refrigenergy@aua.gr

Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν η μελέτη της φυσιολογικής συμπεριφοράς και της μεταβολής των ποιοτικών χαρακτηριστικών καρπών τομάτας "Ελπίδα" οι οποίοι συντηρήθηκαν συσκευασμένοι σε τροποποιημένη ατμόσφαιρα σε δύο θερμοκρασίες 10 και 20 ^{o}C. Οι συσκευασίες αποτελούνταν από πλαστικά φιλμ πολυαιθυλενίου χαμηλής πυκνότητας (LDPE) πάχους 50 μm και 78 μm. Οι ατμόσφαιρες που επιτεύχθηκαν ήταν σχετικά πλούσιες σε O_2 (6.0-9.0%) και αναμενόμενες σε CO_2 (3.0–6.0%). Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η τροποποιημένη ατμόσφαιρα μείωσε σημαντικά την αναπνευστική δραστηριότητα και τις απώλειες μάζας των καρπών και στις δύο μελετηθείσες θερμοκρασίες. Η περιορισμένη αναπνευστική δραστηριότητα οδήγησε τους συσκευασμένους καρπούς σε καθυστέρηση ωρίμασης με σημαντική παράλληλη καθυστέρηση στην αλλαγή χρώματος και στην μεταβολή της υφής.

Λέξεις κλειδιά: τομάτα, τροποποιημένη ατμόσφαιρα, απώλεια μάζας, καθυστέρηση ωρίμασης.

THE EFFECT OF STORAGE CONDITIONS AND MODIFIED ATMOSPHERE ON THE QUALITY CHARACTERISTICS OF "ELPIDA" TOMATOES

P. Mouzakis, E. Savvas, G. Xanthopoulos, E. Aravantinos-Karlatos & Gr. Lambrinos
Agricultural University of Athens, Dep. of NRM & AE, Iera Odos 75, 11855 Athens
Tel. +30 210 5294029, Fax +30 210 5294032, e-mail: refrigenergy@aua.gr

The aim of this paper is to test the effect of modified atmosphere packaging on the respiratory activity, mass loss, texture and colour changes of cultivated tomatoes (hybrid "Elpida"). The results show that the used polyethylene films (LDPE-50, LDPE-78) reduced significantly the respiratory activity of the fruits stored at 10°C and 20°C and retarded colour variation. Additionally, the mass loss of the fruits was significantly reduced compared to the control sample. The decreased physiological activity of the packaged fruits led to ripening retardation with significant changes in texture.

Key words: tomato, modified atmosphere, mass loss, ripening retardation

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι ποιοτικές και ποσοτικές απώλειες στα φρέσκα φρούτα και λαχανικά κατά το χρονικό διάστημα μεταξύ συγκομιδής και κατανάλωσης, αποτελούν ένα αναπόφευκτο γεγονός. Η ενδεικνυόμενη συντήρηση με ψύξη μπορεί να μειώσει σε σημαντικό βαθμό τις απώλειες αυτές, χωρίς αυτό να σημαίνει ότι μπορεί και να τις αποτρέψει. Επιπλέον, με τη συμπληρωματική χρήση της τροποποιημένης ατμόσφαιρας επιτυγχάνεται η περαιτέρω επιμήκυνση της μετασυλλεκτικής ζωής των φρέσκων φρούτων και λαχανικών.

Αρκετές μελέτες έχουν γίνει σχετικά με τη συντήρηση καρπών τομάτας με χρήση τροποποιημένης ατμόσφαιρας (Vidigal et al, 1979; Batu and Thompson, 1998; Ali et al., 2004; Ait-Oubahou, 2006). Όπως προκύπτει από αυτές, η τροποποιημένη ατμόσφαιρα φαίνεται να ασκεί σημαντική επίδραση στην επιμήκυνση της εμπορικής ζωής του προϊόντος και στη διατήρηση των ποιοτικών τους χαρακτηριστικών. Πρόσφατες έρευνες (Ali et al., 2004; Κατσογιάννη κ.α., 2011) έδειξαν ότι η συσκευασία και η τροποποιημένη ατμόσφαιρα περιορίζουν σημαντικά την αναπνευστική δραστηριότητα της βιολογικής επιτραπέζιας τομάτας και τις απώλειες μάζας, ενώ βοηθούν σημαντικά στη διατήρηση του χρώματος και της υφής, καθυστερώντας την ωρίμαση των καρπών.

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι η μελέτη της συμπεριφοράς συσκευασμένων καρπών επιτραπέζιας τομάτας, υβρίδιο «Ελπίδα», με χρήση τροποποιημένης ατμόσφαιρας.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Οι τομάτες που χρησιμοποιήθηκαν ανήκαν στο υβρίδιο «Ελπίδα», το οποίο κατηγοριοποιείται ως μεσόκαρπο, στρογγυλό, με μέσο βάρος 240 – 260 g, προοριζόμενο για καλλιέργεια υπό κάλυψη το φθινόπωρο και το χειμώνα. Το πείραμα περιελάμβανε δύο πειραματικές σειρές, με τομάτες σταδίου ωριμότητας 4 (Pink) (1ο χέρι συγκομιδής) και 3 (Turning) (4ο χέρι συγκομιδής), στη πρώτη και δεύτερη σειρά αντίστοιχα, οι οποίες συλλέχθηκαν από θερμοκήπιο στην περιοχή του Μαραθώνα Αττικής. Η παραλαβή των καρπών γινόταν νωρίς το πρωί και η μεταφορά οδικώς στο εργαστήριο για να πραγματοποιηθεί διαλογή, πλύσιμο των καρπών και στέγνωμα. Ακολουθούσαν μετρήσεις υφής με δοκιμές στη συμπίεση (καταστρεπτικά τεστ) σε 20 αντιπροσωπευτικά δείγματα σε κάθε σειρά και μετρήσεις χρώματος 100 δειγμάτων σε κάθε σειρά Οι καρποί που προορίζονταν για συντήρηση χωρίς συσκευασία (μάρτυρες) χωρίς άλλη επεξεργασία

τοποθετήθηκαν σε ειδικά πλαστικά τελάρα και έπειτα σε θαλάμους με θερμοκρασίες 10 oC και 20 oC. Η μέτρηση της αρχικής αναπνοής στις ασυσκεύαστες τομάτες έγινε την επόμενη μέρα της τοποθέτησής τους στους ψυκτικούς θαλάμους.

Οι τομάτες που προορίζονταν να συντηρηθούν συσκευασμένες, μετά τη διαλογή τους χωρίστηκαν σε τετράδες και τοποθετήθηκαν στους θαλάμους στους 10 ^{o}C και 20 ^{o}C μαζί με τις πλαστικές συσκευασίες για 24 ώρες, προκειμένου να επέλθει θερμική εξισορρόπηση και να αποφευχθεί η δημιουργία συμπυκνωμάτων κατά τη συσκευασία τους. Μετά την πάροδο 24 ωρών σταθεροποίησης, οι τομάτες ζυγίστηκαν ατομικά και ανά τετράδες τοποθετήθηκαν σε δισκάκια από διογκωμένη πολυστερίνη και σφραγίστηκαν μέσα στις πλαστικές συσκευασίες (η σφράγιση των συσκευασιών έγινε με ειδικό θερμοσυγκολλητικό μηχάνημα). Ακολούθησε μέτρηση της μάζας των συσκευασμένων καρπών (τετράδες) και οριστική τοποθέτησή τους στους θαλάμους συντήρησης. Οι συσκευασίες αποτελούνταν από πλαστικά φιλμ πολυαιθυλενίου χαμηλής πυκνότητας (LDPE) πάχους 50 μm και 78 μm.

Η ανάλυση των συγκεντρώσεων των ατμοσφαιρικών αέριων O_2 και CO_2 μέσα στις συσκευασίες γινόταν καθημερινά με τη βοήθεια αναλυτή O_2/CO_2 (CHECK MATE 9900 PBI, Dansensor Co., Denmark). Για τη δειγματοληψία των ατμοσφαιρικών αερίων από τις συσκευασίες, είχε επικολληθεί σε κάθε μία από αυτές ειδικό διάφραγμα(septum). Η δειγματοληψία του μίγματος των αερίων (2 mL) γινόταν με τη βοήθεια ειδικής υποδερμικής βελόνας η οποία εισερχόταν στη συσκευασία διαπερνώντας το septum το δε αέριο μίγμα μεταφερόταν με αντλία στον αναλυτή. Οι μετρήσεις των συγκεντρώσεων των ατμοσφαιρικών αερίων έγιναν μέχρι τη σταθεροποίησή τους.

Οι μετρήσεις της αναπνοής τόσο των ασυσκεύαστων καρπών (μάρτυρα), όσο και των συσκευασμένων μετά τη σταθεροποίηση της εσωτερικής ατμόσφαιρας πραγματοποιήθηκαν με τη φορητή διάταξη RIKCLOS (Λαμπρινός και Μητρόπουλος, 2004; Λαμπρινός κ.ά., 2006; Λαμπρινός και Μητρόπουλος, 2006).

Για τη μέτρηση της απώλειας μάζας χρησιμοποιήθηκε ηλεκτρονικός ζυγός KERN 440 ακρίβειας ±0.01 g.

Οι μετρήσεις του χρώματος των καρπών έγιναν με χρωματόμετρο MINOLTA CR-300 (Minolta Corp. Japan), η δε χρησιμοποιηθείσα κλίμακα ήταν η CIE 1976 με χρωματικούς δείκτες L^* (φωτεινότητα), a^* (πράσινο- κόκκινο) και b^* (μπλε- κίτρινο). Κάθε φορά λαμβάνονταν τέσσερις μετρήσεις σε κάθε τομάτα στην περιοχή του κάλυκα.

Ο προσδιορισμός της αντίστασης των καρπών στη συμπίεση έγινε με τη βοήθεια αναλυτή υφής TA.XT2i (SMS, England) εφοδιασμένου με έμβολο κινούμενου με σταθερή ταχύτητα 8 cm/min και δίσκο συμπίεσης διαμέτρου 7 cm. Δοκιμή καταστρεπτικής συμπίεσης πραγματοποιήθηκε στην αρχή και στο τέλος της συντήρησης κάθε τύπου συσκευασίας και πειραματικής σειράς. Μη καταστρεπτική συμπίεση πραγματοποιήθηκε σε ένα δείγμα από 10 ασυσκεύαστες τομάτες ανά θερμοκρασία (μάρτυρας), μετρήσεις δε λαμβάνονταν στο ίδιο δείγμα κάθε δύο μέρες. Κατά τη δοκιμή μη καταστρεπτικής συμπίεσης, η παραμόρφωση που εκτελούσε ο δίσκος συμπίεσης ήταν 3 mm από την επαφή του δίσκου συμπίεσης με τον καρπό. Ο καρπός ετοποθετείτο πάντοτε με τον πολικό άξονα παράλληλο στη πλάκα συμπίεσης ώστε η δοκιμή να γίνεται στην περιοχή του ισημερινού της τομάτας. Στην καταστρεπτική συμπίεση η διαδικασία τερματιζόταν όταν σημειωνόταν ρήξη του επιδερμικού ιστού.

Η ανάλυση της διασποράς (ANOVA) των πειραματικών δεδομένων έγινε με τα προγράμματα Statgraphics Centurion XVI σε επίπεδο σημαντικότητας $P \leq 0.05$.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Στον Πίνακα 1 παρουσιάζονται οι τελικές ατμόσφαιρες που δημιουργήθηκαν μέσα σε κάθε συσκευασία πολυαιθυλενίου, μετά τη σταθεροποίηση που επετεύχθη μεταξύ της 6ης και της 8ης ημέρας συντήρησης.

Οι ατμόσφαιρες ήταν σχετικά πλούσιες σε O_2 (6-9%) ώστε με κανένα από τα χρησιμοποιηθέντα πλαστικά και σε καμία θερμοκρασία συντήρησης, δεν επιτεύχθηκε ατμόσφαιρα σύστασης 3% O_2 και 2-4% CO_2 όπως προτείνεται στη βιβλιογραφία (Sargent and Moretti, 2004).

Ο ρυθμός αναπνοής των συσκευασμένων τοματών, που μετρήθηκε μετά τη σταθεροποίηση των συγκεντρώσεων των ατμοσφαιρικών αερίων, παρουσίασε σημαντική μείωση, ειδικά στους 20 ºC (Πίνακας 2). Η τροποποιημένη ατμόσφαιρα δείχνει να έχει σημαντική επίδραση στην αναπνευστική δραστηριότητα του συγκεκριμένου υβριδίου.

Οι απώλειες μάζας στις συσκευασμένες τομάτες ήταν σημαντικά μικρότερες από τις απώλειες μάζας στις ασυσκεύαστες (μάρτυρας). Οι ημερήσιες απώλειες σε καμία περίπτωση δεν υπερέβησαν τα 100 mg ανά kg συσκευασμένου προϊόντος. Οι συνθήκες κορεσμού μέσα στις συσκευασίες περιόρισαν τις απώλειες μάζας των καρπών μόνον σε αυτές που οφείλονται στην αναπνοή και στη διαπνοή (φυσιολογικές απώλειες).

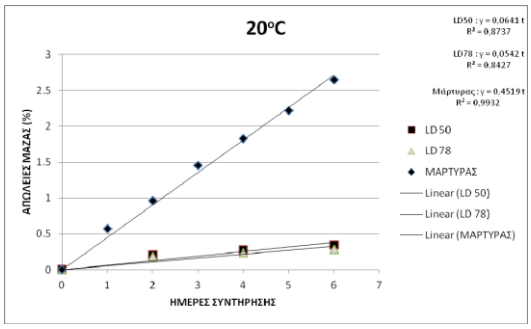
Πίνακας 1. *Συγκεντρώσεις των ατμοσφαιρικών αερίων O_2 και CO_2 μετά τη σταθεροποίηση, για κάθε τύπο πλαστικής συσκευασίας στις δύο θερμοκρασίες συντήρησης των καρπών βιολογικής τομάτας.*

Θερμοκρασία (ºC)	Πλαστικό φιλμ	Ατμοσφαιρικά αέρια (σταθεροποίηση)	
		O_2 (%)	CO_2(%)
10	LDPE50	6.0-8.8	3.0 -4.1
	LDPE78	5.9 -7.0	4.0-5.0
20	LDPE50	7.6 -9.0	3.5 -4.9
	LDPE78	6.9 -9.1	5.0 -6.2

Πίνακας 2. *Μέσοι όροι του ρυθμού αναπνοής των καρπών του μάρτυρα κατά την έναρξη (RR_0) και το τέλος του πειράματος (RR_{final}) σε σύγκριση με το ρυθμό αναπνοής των συσκευασμένων καρπών μετά τη σταθεροποίηση του αναπνευστικού ρυθμού (RRmap).*

θερμοκρασίες	Πειραματική σειρά	Πλαστικό	Αναπνοές($gCO_2/h/kg$)			
			RR_0	RRmap	RR_{final}	$RRmap/RR_{av}$
10ºC	1η	LDPE-50	7,6931	4,2964	4,9120	0,68
		LDPE-78		4,7442		0, 75
20ºC		LDPE-50	23,5025	11,3294	14,2501	0,60
		LDPE-78		11,1691		0,59
10ºC	2η	LDPE-50	10,4794	6,8950	9,5301	0.69
		LDPE-78		6,1328		0,95
20ºC		LDPE-50	34,4743	11,3014	22,7383	0,40
		LDPE-78		10,6338		0,37

Μεταξύ των συσκευασμένων τοματών δεν παρατηρείται σημαντική διαφορά ως προς τις απώλειες μάζας στους 10 ºC και στους 20 ºC.



Σχήμα 3. Απώλειες μάζας συσκευασμένων (LD50 και LD78) και ασυσκεύαστων καρπών (Μάρτυρας) σε θερμοκρασία συντήρησης 20 ºC (2η πειραματική σειρά)

Η στατιστική ανάλυση των δεδομένων των απωλειών μάζας έδειξε ότι η θερμοκρασία δεν έχει στατιστικά σημαντική επίδραση στις απώλειες μάζας των καρπών τομάτας και για τα δύο πλαστικά (LD50 και LD78). Επίσης ο χρόνος συντήρησης εμφανίζεται να μην έχει στατιστικά σημαντική επίδραση στις απώλειες μάζας και για τα δύο πλαστικά.

Οι Πίνακες 3 και 4 παραθέτουν τη μεταβολή των χρωματικών παραγόντων L*, a* και b* στην αρχή και στο τέλος των πειραμάτων των συσκευασμένων καρπών τομάτας 1ης και 2ης πειραματικής σιεράς.

Από τη στατιστική σύγκριση προκύπτει ότι η παράμετρος α* (κοκκίνισμα) διαφέρει σημαντικά μεταξύ του μάρτυρα και των δειγμάτων στις δυο συσκευασίες. Ομοίως η παράμετρος L* (φωτεινότητα) διαφέρει μεταξύ του μάρτυρα και των συσκευασμένων δειγμάτων, ενώ ανάμεσα στους δύο τύπους πλαστικών δεν υπάρχει σημαντική διαφορά. Τέλος η παράμετρος b* (κιτρίνισμα) ενώ διαφέρει μεταξύ του μάρτυρα και των συσκευασμένων

Πίνακας 3. Μέσες τιμές και τυπική απόκλιση των παραμέτρων L, a*, b*, συναρτήσει του χρόνου συντήρησης, στις συσκευασμένες τομάτες σε δύο θερμοκρασίες συντήρησης (1η πειραματική σειρά).*

ΗΜΕΡΕΣ	1η ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΣΕΙΡΑ LDPE-50					
	10ºC			20ºC		
	a*	b*	L*	a	b	L
1	14,609±4,93	20,99± 2,74	49,32±2,56	7,17±6,34	22,40±2,93	49,30±2,16
10	-	-	-	16,60±5,46	19,96±2,55	43,57±11,38
20	19,77±0.46	18,743±0.467	47,43±0,70	-	-	-
ΗΜΕΡΕΣ	1η ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΣΕΙΡΑ LDPE-78					
	10ºC			20ºC		
	a	b	L	a	B	L
1	14,60± 4,93	20,99± 2,74	49,32±2,56	7,17±6,34	22,40±2,93	49,30±2,16
10	-	-	-	14,86±5,35	21,25±2,73	47,68±2,54
20	19,77±0.46	18,74±0.46	47,43±0,70	-	-	-

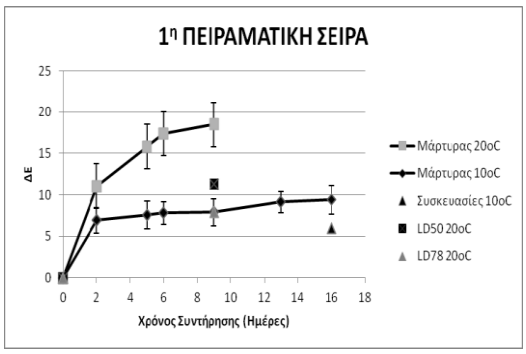
Πίνακας 4. Μέσες τιμές και τυπική απόκλιση των παραμέτρων a, b*, L συναρτήσει του χρόνου συντήρησης, στις συσκευασμένες τομάτες (LD50) σε δύο θερμοκρασίες συντήρησης (2η πειραματική σειρά).*

ΗΜΕΡΕΣ	2η ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΣΕΙΡΑ LD50					
	10ºC			20ºC		
	a	b	L	a	b	L
1	-1,03±4,19	21,76±2,38	50,68±2,25	-2,80±3,20	21,88±2,35	51,49±2,12
14				8,79±7,77	22,76±2,80	51,82±3,60
20	11,05±5,72	19,70±2,35	48,23±1,86			
ΗΜΕΡΕΣ	2η ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΣΕΙΡΑ LD78					
	10ºC			20ºC		
	a	b	L	a	b	L
1	-1,03±4,19	21,76±2,38	50,68±2,25	-2,80±0,41	21,88±2,35	51,49±2,12
14				2,93±4,00	22,23±2,10	53,05±1,48
20	7,89±4,32	20,48±3,22	49,30±1,87			

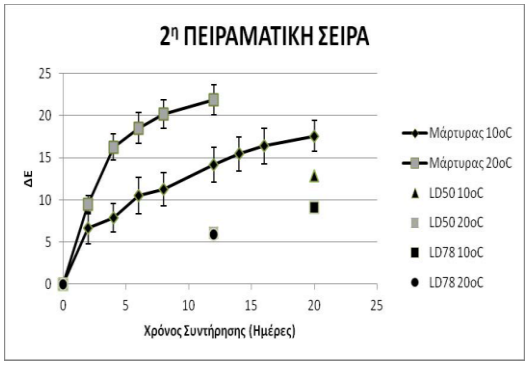
Από τη στατιστική σύγκριση προκύπτει ότι η παράμετρος α* (κοκκίνισμα) διαφέρει σημαντικά μεταξύ του μάρτυρα και των δειγμάτων στις δυο συσκευασίες. Ομοίως η παράμετρος L* (φωτεινότητα) διαφέρει μεταξύ του μάρτυρα και των συσκευασμένων δειγμάτων, ενώ ανάμεσα στους δύο τύπους πλαστικών δεν υπάρχει σημαντική διαφορά. Τέλος η παράμετρος b* (κιτρίνισμα) ενώ διαφέρει μεταξύ του μάρτυρα και των συσκευασμένων δειγμάτων με LDPE-78, δεν διαφέρει μεταξύ των δειγμάτων των δύο συσκευασιών.

Η ολική μεταβολή του χρώματος ΔΕ* συσκευασμένων και ασυσκεύαστων καρπών συναρτήσει του χρόνου συντήρησης στους 10 °C και 20 °C για τις δύο πειραματικές σειρές παρουσιάζεται στα Σχήματα 4 και 5.

Όπως είναι φανερό, η τροποποιημένη ατμόσφαιρα προκαλεί σημαντική καθυστέρηση στην ανάπτυξη του χρώματος. Από την ανάλυση διασποράς συμπεραίνεται ότι οι μέσες τιμές της ολικής μεταβολής του χρώματος ΔΕ* των καρπών (Fisher's LSD test) μεταξύ 10 °C και 20 °C δεν εμφανίζουν από στατιστικής πλευράς σημαντικές διαφορές μεταξύ των δύο πειραματικών σειρών.



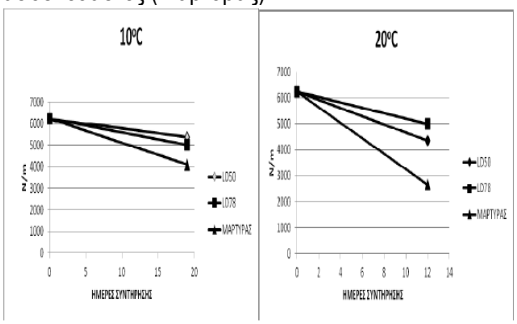
Σχήμα 4. Μεταβολή του ΔΕ για τις ασυσκεύαστες και συσκευασμένες τομάτες συναρτήσει του χρόνου συντήρησης στους 10 °C και 20 °C, 1η πειραματική σειρά.*



Σχήμα 5. Μεταβολή του ΔΕ για τις ασυσκεύαστες και συσκευασμένες τομάτες συναρτήσει του χρόνου συντήρησης στους 10 °C καιν 20 °C, 2η πειραματική σειρά.*

Η μεταβολή της αντίστασης των τοματών στη συμπίεση (καταστροφική), εκφράστηκε τόσο με τη μεταβολή της κλίσης της αντίστασης του καρπού στη συμπίεση (αρχή – τέλος) όσο και με τη μεταβολή της μέγιστης αντίστασης στη συμπίεση. Στο Σχήμα 6 παρουσιάζονται ενδεικτικά οι μεταβολές της κλίσης της αντίστασης των καρπών στη συμπίεση της 2ης πειραματικής σειράς.

Από τη στατιστική σύγκριση προκύπτει ότι στην 1η και 2η πειραματική σειρά δεν υπάρχει σημαντική διάφορα στην κλίση της καμπύλης συμπίεσης ούτε στις συσκευασμένες τομάτες (LD50, LD78) ούτε στις ασυσκεύαστες (Μάρτυρας).



Σχήμα 6. Μεταβολή της κλίσης της καμπύλης συμπίεσης των ασυσκεύαστων και συσκευασμένων τοματών συναρτήσει του χρόνου συντήρησης, κατά τη συντήρηση τους στους 10 °C και 20 °C στη 2η πειραματική σειρά.

Η στατιστική ανάλυση των δεδομένων των μέσων τιμών της κλίσης στην καταστρεπτική συμπίεση έδειξε ότι η θερμοκρασία έχει στατιστικά σημαντική επίδραση στην κλίση της καμπύλης συμπίεσης των καρπών και στις δύο σειρές. Αντιθέτως ο χρόνος συντήρησης εμφανίζεται να μην έχει σημαντική επίδραση στην 1η πειραματική σειρά, γεγονός που πιθανώς οφείλεται στο προχωρημένο στάδιο ωριμότητας που βρίσκονταν οι καρποί της σειράς αυτής.

Από τη στατιστική σύγκριση των τιμών της μέγιστης δύναμης ανάμεσα στις συσκευασμένες και ασυσκεύαστες τομάτες προέκυψε ότι και στις δύο πειραματικές σειρές και στις δύο θερμοκρασίες συντήρησης (10 °C και 20 °C), δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά ανάμεσα στις τιμές του μάρτυρα και των δύο συσκευασιών.

Έπειτα από 19 ημέρες συντήρησης, οι συσκευασμένες τομάτες στους 10 ºC εμφάνισαν την ίδια συμπεριφορά στην υφή με αυτήν που παρουσίασαν οι ασυσκεύαστες την 10η ημέρα συντήρησης στην ίδια θερμοκρασία ενώ οι συσκευασμένοι καρποί που συντηρήθηκαν στους 20 ºC, παρουσίασαν την ίδια υφή την 10η ημέρα συντήρησης. Από τα παραπάνω και σύμφωνα με βιβλιογραφικές αναφορές (Batu and Thompson, 1998; Ali *et al.*, 2004; Κατσογιάννη κ.α., 2011), μπορεί να υποστηριχθεί ότι οι συσκευασμένη τομάτα διατηρεί για σημαντικά περισσότερο χρόνο συντήρησης την υφή της.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η συσκευασία και η τροποποιημένη ατμόσφαιρα σε συγκεντρώσεις 6.0-9.0% O_2 και 3.0-6.0% CO_2 περιορίζουν σημαντικά την αναπνευστική δραστηριότητα και τις απώλειες μάζας της τομάτας υβρίδιο «Ελπίδα» , βοηθώντας στη διατήρηση του χρώματος και της υφής και γενικά καθυστερώντας σημαντικά την ωρίμαση των καρπών.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ait-Oubahou A., 2006. Modified Atmosphere Packaging of Tomato Fruit, *CIHEAM - Options Mediterraneennes*. www.ressources.ciheam.org/om/pdf /c42/CI020464.pdf.

Ali Md. Sayed, Kohei Nakano, Maezawa Shigenori, 2004. Research note: Combined effect of heat treatment and modified atmosphere packaging on the colour development of cherry tomato, *Postharvest Biology and Technology* 34:113–116.

Batu Ali, Thompson Keith A., 1998. Effects of Modified Atmosphere Packaging on Post Harvest Qualities of Pink Tomatoes, *Journal of Agriculture and Forestry* 22: 365-372.

Sargent S.A. and Moretti C.L., 2004. *The Commercial Storage of Fruits, Vegetables, and Florist and Nursery Stocks*. Agriculture Handbook Number 66, http://usna.usda.gov/hb66/contents.htm.

Vidigal J.C., Sigrist J.M.M., Figueiredo I.B. and Medina J.C., 1979 Cold storage and controlled

atmosphere storage of tomatoes. *Boletin do Instituto de Tecnologia de Alimentos, Brasil* 16, 421-442.

Κατσογιάννη, Α., Ψυχογυιού Στ, Ξανθόπουλος Γ., Χατζής Ε., Μανωλοπούλου Ε., Αραβαντινός–Καρλάτος Ε.και Λαμπρινός Γρ., 2011. Συντήρηση συσκευασμένης τομάτας βιολογικής καλλιέργειας σε τροποποιημένη ατμόσφαιρα. Πρακτικά 7ου πανελλήνου συνεδρίου της ΕΓΜΕ. Αθήνα, 24-27 Νοεμβρίου 2011.

Λαμπρινός Γ. και Μητρόπουλος Δ., 2004. *Φορητή συσκευή και μέθοδος μέτρησης αναπνοής καρπών*. Οργανισμός Βιομηχανικής Ιδιοκτησίας (OBI). Δίπλωμα Ευρεσιτεχνίας Αριθμ. 1004590/2004.

Λαμπρινός Γ., και Μητρόπουλος Δ., *Φορητή συσκευή και μέθοδος μέτρησης αναπνοής καρπών που είναι συσκευασμένοι σε τροποποιημένη ατμόσφαιρα.* Οργανισμός Βιομηχανικής Ιδιοκτησίας (OBI). Δίπλωμα Ευρεσιτεχνίας Αριθμ. 1005204/2006.

Λαμπρινός Γ., Μανωλοπούλου Ε και Μητρόπουλος Δ., *Αναπνευστικός θάλαμος, φορητή συσκευή και μέθοδος μέτρησης αναπνοής καρπών.* Οργανισμός Βιομηχανικής Ιδιοκτησίας (OBI). Δίπλωμα Ευρεσιτεχνίας Αριθμ. 1005205/2006.

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΣΤΟΥΣ ΠΟΙΟΤΙΚΟΥΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΕΣ ΤΟΜΑΤΑΣ "ΕΛΠΙΔΑ"

Ε. Σάββας, Π. Μουζάκης, Γ. Ξανθόπουλος, Ε. Αραβαντινός-Καρλάτος και Γρ. Λαμπρινός
Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Α.Φ.Π. & Γ.Μ., Ιερά Οδός 75, Τ.Κ. 11855, Αθήνα, Τηλ. 210 529 4029, Fax. 210 529 4032, e–mail: refrigenergy@aua.gr

Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν η μελέτη της επίδρασης των συνθηκών συντήρησης στα ποιοτικά χαρακτηριστικά καρπών τομάτας ποικιλίας "Ελπίδα", συντηρούμενων σε δύο θερμοκρασίες (10 και 20 °C) και τεσσάρων σχετικών υγρασιών. Μελετήθηκαν οι απώλειες μάζας συναρτήσει του χρόνου συντήρησης, της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας, η αντοχή στη συμπίεση (καταστρεπτική και μη) και η μεταβολή του χρώματος συναρτήσει του χρόνου και της θερμοκρασίας συντήρησης. Το έλλειμμα πίεσης υδρατμών (ΔPv) όσο και οι ημέρες συντήρησης επιδρούν σημαντικά στο ρυθμό απωλειών μάζας. Τα ημερήσια ποσοστά απωλειών μάζας (ML/day) δίνονται από μια δευτεροβάθμια σχέση συναρτήσει του ΔPv. Η μεταβολή των χρωματικών παραγόντων L*, a*, ΔE με το χρόνο συντήρησης, ήταν σε όλες τις περιπτώσεις μεγαλύτερη στους 20 °C από ότι στους 10 °C. Η καμπύλη πρόβλεψης της μεταβολής του δείκτη ολικής μεταβολής του χρώματος ΔE συναρτήσει της θερμοκρασίας και του χρόνου συντήρησης είναι εκθετική τύπου Arrhenius, με υψηλό προσαρμοσμένο συντελεστή προσδιορισμού $\left(R^2_{adj}\right)$. Η κλίση της αντίστασης στη συμπίεση μειώνεται με το χρόνο και υπάρχει στατιστικώς σημαντική διαφορά ανάμεσα στις δύο θερμοκρασίες συντήρησης και στις δυο διαδοχικές πειραματικές σειρές που εξετάστηκαν.

Λέξεις κλειδιά: τομάτα, συντήρηση με ψύξη, ρυθμός αναπνοής, απώλειες μάζας, χρώμα, υφή

THE EFFECT OF STORAGE CONDITIONS ON THE QUALITY CHARACTERISTICS OF "ELPIDA" TOMATOES

E. Savvas, P. Mouzakis, G. Xanthopoulos, E. Aravantinos-Karlatos & Gr. Lambrinos
Agricultural University of Athens, Dep. of NRM & AE, Iera Odos 75, 11855 Athens
Tel. +30 210 5294029, Fax +30 210 5294032, e-mail: refrigenergy@aua.gr

The aim of the present paper is to study the effect of storage conditions on the quality characteristics of "Elpida" tomatoes, stored in two temperatures (10 και 20 °C) and four relative humidity levels. The paper discusses, firstly, the mass loss due to storage time, temperature, and relative humidity, secondly, the resistance to compression (both destructive and non-destructive) and, finally, the colour variation related to storage time and temperature. The water vapour pressure deficit (WVPD), as well as the storage period, have a significant effect on the mass loss rate. The daily mass losses (ML/day, %) were calculated using a second degree equation vs. the WVPD. The variation of the colour values L*, a*, ΔE according to storage time was, in all cases, greater at 20°C than at 10°C. The prediction correlation of the total colour variation (ΔE) vs. temperature and storage time takes the form of an Arrhenius exponential with a high R^2. The slope of the deformation resistance is decreased over time, while a considerable statistical difference is observed between the two storage temperatures and series.

Key words: "Elpida" tomato, cold storage, respiration rate, mass loss, colour, texture

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η σκληρότητα και το χρώμα είναι από τους πιο σημαντικούς παράγοντες που χαρακτηρίζουν την ποιότητα της τομάτας. Κατά την αποθήκευση τοματών της ποικιλίας Monroe στους 5 °C και στους 10 °C παρατηρήθηκαν μεγάλη μείωση στη σκληρότητα της σάρκας σε διάστημα 24 ημερών και αλλαγή στο χρώμα του καρπού που ήταν εμφανέστερη στους 10 °C (Požrl, 2010). Η κλίση της αντίστασης στη συμπίεση υπό σταθερή παραμόρφωση μπορεί να περιγραφεί με μια εκθετική συνάρτηση που λαμβάνει υπ' όψιν τη θερμοκρασία και το χρόνο συντήρησης (Κατσογιάννη, 2010). Σε έρευνα των Sirisomboon et al. (2012) σε τομάτες της ποικιλίας "Momotaro" τριών σταδίων ωριμότητας ("Mature green", "Pink", "Red") με και χωρίς φλούδα, εξήχθη το συμπέρασμα ότι όλες οι παράμετροι υφής σχετίζονται με το στάδιο ωριμότητας. Η κλίση της αντίστασης στη συμπίεση των καρπών αύξανε όσο πιο ώριμες ήταν οι τομάτες, ενώ οι τομάτες που δεν ήταν ώριμες παρουσίαζαν μεγαλύτερη ελαστικότητα από τις ώριμες.

Η απώλεια υγρασίας μεταβάλλεται εκθετικά με το χρόνο μέχρι ενός ορίου το οποίο αποτελεί το μέγιστο ποσοστό υγρασίας που μπορεί να χάσει και το οποίο εξαρτάται από τη θερμοκρασία, ή καλύτερα από το έλλειμμα πίεσης υδρατμών το οποίο είναι συνάρτηση της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας (Van Dijk et al., 2006; Ψυχογυιού κ.ά., 2009). Η προσπάθεια να προσεγγιστεί η απώλεια υγρασίας λόγω του ελλείμματος πίεσης υδρατμών έχει αναλυθεί και σε άλλες διατριβές (Sastry και Buffington, 1983) όπου εκφράζεται ως ο ρυθμός διαπνοής με πολύ συγκεκριμένες παραδοχές. Η προσέγγιση αυτή δίνει έμφαση στο φυσικό φαινόμενο που λαμβάνει χώρα, παραγκωνίζοντας το φυσιολογικό φαινόμενο, όπου η αναπνοή στη συγκεκριμένη μελέτη θεωρήθηκε μόνο ως παράγοντας θερμογένεσης, που επηρεάζει μόνο το έλλειμμα πίεσης των υδρατμών.

Οι Ψυχογυιού κ.α. (2009) από πειράματα σε συσκευασμένες και ασυσκεύαστες τομάτες βιολογικής καλλιέργειας (υβρίδιο Alma) σε θερμοκρασίες 5 ºC, 10 ºC, 15 ºC και 20 ºC, κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι ο ρυθμός αφυδάτωσης λόγω φυσικών μόνο διεργασιών εκφράζεται μέσω μιας πολυωνυμικής σχέσης, ενώ το φυσιολογικό φαινόμενο μέσω μιας εκθετικής.

Έχουν γίνει αρκετές προσπάθειες προτυποποίησης της μεταβολής του χρώματος σε διάφορες συνθήκες ψυχροσυντήρησης. Σε εργασία των Tijskens και Evelo (1993) σε έξι θερμοκρασίες συντήρησης (10 °C, 15 °C, 20 °C, 25 °C, 30 °C, 35 °C) παρατηρήθηκε ότι η πρόβλεψη της συμπεριφοράς του χρώματος εξαρτάται σημαντικά από το στάδιο ωριμότητας του προϊόντος, ενώ η μακροπρόθεσμη πρόβλεψη από πρασινωπή τομάτα είναι σχεδόν αδύνατη. Η βραχυπρόθεσμη πρόβλεψη μόνο (στάδιο ωριμότητας "Pink") έδωσε αρκετά καλά αποτελέσματα. Οι Pinheiro et al. (2012) μελέτησαν τομάτες της ποικιλίας Zinac ως προς το χρώμα, τις απώλειες μάζας, την υφή, και την περιεκτικότητα σε φαινόλες και χρησιμοποίησαν ως μοντέλο πρόβλεψης μια τροποποιημένη εξίσωση Arrhenius, η οποία έδωσε πολύ καλά αποτελέσματα για τις θερμοκρασίες συντήρησης (2, 5, 10, 15 και 20 °C) σε σχέση με τους παράγοντες που μελετήθηκαν. Οι Ψυχογιού κ.α. (2009) στη μελέτη που προαναφέρθηκε ανέπτυξε μεταξύ άλλων και μοντέλα που αφορούν την ολική μεταβολή του χρώματος (ΔΕ), τη μεταβολή της μέγιστης αντίστασης και την κλίση της μέγιστης αντίστασης στη συμπίεση λαμβάνοντας υπ' όψη τόσο το χρόνο όσο και τη θερμοκρασία συντήρησης.

Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν η μελέτη της επίδρασης των συνθηκών συντήρησης στα ποιοτικά χαρακτηριστικά καρπών τομάτας υβριδίου "Ελπίδα", σταδίων "Pink" και "Turning", η οποία συντηρήθηκε στους 10 και 20 °C και σε τέσσερις συνθήκες σχετικής υγρασίας. Μελετήθηκαν οι απώλειες μάζας και η αντίσταση στη συμπίεση (καταστρεπτική μέθοδος) συναρτήσει του χρόνου συντήρησης, της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας συντήρησης, ενώ η αναπνοή, η μεταβολή του χρώματος και η αντοχή στην συμπίεση (μη καταστρεπτική μέθοδος) συναρτήσει μόνο του χρόνου και της θερμοκρασίας συντήρησης.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Οι τομάτες που χρησιμοποιήθηκαν για το πείραμα ανήκαν στο υβρίδιο "Elpida", το οποίο κατηγοριοποιείται ως μεγαλόκαρπο, στρογγυλό, με μέσο βάρος 240 – 260 g, προοριζόμενο για καλλιέργεια υπό κάλυψη το φθινόπωρο και το χειμώνα. Το πείραμα περιελάμβανε δύο πειραματικές σειρές, με τομάτες σταδίου ωριμότητας 4 "Pink" (1ο χέρι συγκομιδής) και 3 "Turning" (4ο χέρι συγκομιδής), στη 1η και 2η σειρά αντίστοιχα, οι οποίες συλλέχθηκαν από θερμοκήπιο στην περιοχή του Μαραθώνα Αττικής. Η παραλαβή των καρπών γινόταν νωρίς το πρωί και η μεταφορά οδικώς στο εργαστήριο για να πραγματοποιηθεί διαλογή, πλύσιμο των καρπών και στέγνωμα. Ακολουθούσαν μετρήσεις υφής με δοκιμές στη συμπίεση (καταστρεπτικά τεστ) σε 20 αντιπροσωπευτικά δείγματα σε κάθε σειρά και μετρήσεις χρώματος 100 δειγμάτων σε κάθε σειρά. Στη συνέχεια τα δείγματα, σε ομάδες των δέκα, τοποθετήθηκαν σε θαλάμους στους 10° C και 20° C, ενώ οι μετρήσεις της αναπνοής λάμβαναν χώρα την αμέσως επόμενη ημέρα προκειμένου οι τομάτες να ψυχθούν στη θερμοκρασία συντήρησής τους.

Οι συνθήκες διαφόρων σχετικών υγρασιών επιτεύχθηκαν ύστερα από τοποθέτηση υπέρκορων διαλυμάτων αλάτων NaOH, LiCl και NaCl, σε κελιά των 80 λίτρων.

Οι μετρήσεις των συνθηκών στα κελιά και στους θαλάμους γίνονταν με ενσύρματους θερμοϋγρασιακούς αισθητήρες/καταγραφείς Hobo 8H (Onset Computer Corporation Massachusetts, USA) διακριτικής ικανότητας και ακρίβειας 0.4 °C, ±0.7 °C και 0.5%, ±4.0% για τη θερμοκρασία και τη σχετική υγρασία αντίστοιχα.

Στις τομάτες που ήταν αποθηκευμένες σε συνθήκες ψυκτικού θαλάμου λάμβανε χώρα μέτρηση χρώματος (κάθε 2-3 ημέρες) και καθημερινή μέτρηση της αναπνευστικής τους δραστηριότητας και της μάζας τους. Οι μετρήσεις μάζας στις τομάτες που βρίσκονταν στις υπόλοιπες σχετικές υγρασίες (εντός των κελιών) γινόταν ανά διήμερο, ενώ οι μετρήσεις που αφορούσαν την υφή κάθε 2-3 ημέρες.

Οι μετρήσεις χρώματος πραγματοποιήθηκαν με χρωματόμετρο MINOLTA CR-300 (Konica Minolta, Japan). Η χρωματική κλίμακα που χρησιμοποιήθηκε βασιζόταν στους χρωματικούς δείκτες L*, a*, b*. Κάθε φορά λαμβάνονταν τρείς μετρήσεις σε κάθε τομάτα στην ίδια περιοχή αντιδιαμετρικά του κάλυκα. Η ολική μεταβολή του χρώματος ΔE* (Total Color Difference) όπως περιγράφεται από τη σχέση $\Delta E^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$ χρησιμοποιήθηκε στην περιγραφή της ολικής μεταβολής του χρώματος των υπό μελέτη δειγμάτων.

Για τη μέτρηση της αναπνοής (CO_2) χρησιμοποιήθηκε η φορητή συσκευή RICKLOS RI 411A (Λαμπρινός και Μητρόπουλος, 2004; Λαμπρινός κ.ά., 2006; Λαμπρινός και Μητρόπουλος, 2006). Η κλίμακα μέτρησης του οργάνου κυμαίνεται από 0 ως 5,000 ppm CO_2 με διακριτική ικανότητα 25 ppm και ακρίβεια ± 1% της πλήρους κλίμακας.

Για την μέτρηση της μάζας χρησιμοποιήθηκε ζυγός ακριβείας της εταιρίας AND (μοντέλο FA-2000) με ακρίβεια ±0.02 g.

Για τον προσδιορισμό της υφής των καρπών (αντίσταση στη συμπίεση) χρησιμοποιήθηκε αναλυτής υφής Texture analyzer TA.XT2i (Stable Micro Systems, Ltd. UK). Για την εκτέλεση των δοκιμών υφής (καταστρεπτικών και μη) χρησιμοποιήθηκε δίσκος συμπίεσης. Καταστρεπτική συμπίεση πραγματοποιήθηκε στην αρχή και στο τέλος της συντήρησης κάθε πειραματικής σειράς. Μη καταστρεπτική συμπίεση πραγματοποιήθηκε σε ένα δείγμα από 10 ασυσκεύαστες τομάτες ανά συνθήκη, μετρήσεις δε, λαμβάνονταν στο ίδιο δείγμα κάθε δύο μέρες. Κατά τη μη καταστρεπτική συμπίεση η

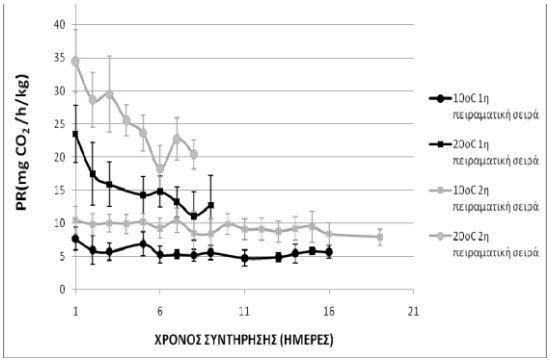
παραμόρφωση που εκτελούσε ο δίσκος συμπίεσης ήταν 3 mm από την επαφή με τον καρπό. Ο καρπός ετοποθετείτο πάντοτε με τον πολικό άξονα παράλληλο στη πλάκα συμπίεσης ώστε η δοκιμή να γίνεται στην περιοχή του ισημερινού της τομάτας. Στην καταστρεπτική συμπίεση η διαδικασία τερματιζόταν όταν σημειωνόταν ρήξη του επιδερμικού ιστού.

Οι καρποί πριν την εκτέλεση των δοκιμών υφής αφήνονταν για μία ώρα σε θερμοκρασία περιβάλλοντος. Η επεξεργασία των δεδομένων της υφής έγινε με το πρόγραμμα TEXTURE EXPONENT 32 (ver. 6.0.4.0).

Για την στατιστική επεξεργασία των πειραματικών δεδομένων χρησιμοποιήθηκε το στατιστικό πακέτο Statgraphics Centurion XV.I, οι δε επεξεργασίες έλαβαν χώρα σε επίπεδο σημαντικότητας P≤0.05.

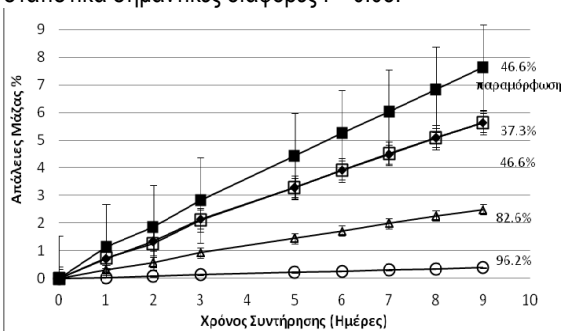
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΧΟΛΙΑ

Ο ρυθμός αναπνοής των καρπών που συντηρήθηκαν στους 10 °C είναι σημαντικά χαμηλότερος από τον αντίστοιχο των καρπών που συντηρήθηκαν στους 20 °C και στις δύο πειραματικές σειρές (Σχήμα 1). Από την ανάλυση διασποράς (ANOVA) προκύπτει ότι τόσο η θερμοκρασία όσο και ο χρόνος συντήρησης είχαν στατιστικά σημαντική επίδραση στην αναπνευστική δραστηριότητα των τοματών και στις δύο πειραματικές σειρές. Συγκρίνοντας τις δύο σειρές μεταξύ τους για κάθε θερμοκρασία συντήρησης ξεχωριστά (Fisher's Least Significant Differences test), προκύπτει ότι οι αναπνευστικοί ρυθμοί των τοματών (μέσοι όροι) ήταν στατιστικώς σημαντικά διαφορετικοί μεταξύ των δύο σειρών και στις δυο θερμοκρασίες συντήρησης.



Σχήμα 1. Αναπνευστικοί ρυθμοί τομάτας ($mgCO_2/h\ kg_{καρπού}$) στους 10 °C και 20 °C για την 1η και 2η πειραματική σειρά.

Όπως και στο Σχήμα 2 φαίνεται αρχικά ότι ο χρόνος, η θερμοκρασία και η σχετική υγρασία συντήρησης επηρέασαν την τελική τιμή των απωλειών μάζας. Η σύγκριση των αποτελεσμάτων απώλειας μάζας στις δύο θερμοκρασίες συντήρησης και στα διαφορετικά επίπεδα σχετικής υγρασίας μέσω του ελλείμματος πίεσης υδρατμών έδειξε ότι τελικά το έλλειμμα πίεσης των υδρατμών (WVPD) είναι ο βασικός παράγοντας που μαζί με το χρόνο συντήρησης επηρεάζουν σημαντικά την απώλεια μάζας. Μεταξύ των δυο σειρών δεν εντοπίζονται στατιστικά σημαντικές διαφορές P≤0.05.



Σχήμα 2. Μεταβολή των απωλειών μάζας συντηρούμενων τοματών στους 20 °C και σε 4 σχετικές υγρασίες (1η πειραματική σειρά).

Η σχέση που αναπτύχθηκε και παρέχει ικανοποιητική προσέγγιση των απωλειών μάζας είναι:

$$ML\,\% = (a\,WVPD^2 + b\,WVPD + c\,T)\,t \quad (1)$$

όπου, ML(%) οι απώλειες (%) επί αρχικής μάζας; WVPD το έλλειμμα πίεσης υδρατμών σε kPa; T η θερμοκρασία σε K; t ο χρόνος συντήρησης σε ημέρες και a, b, c οι συντελεστές της παλινδρόμησης οι οποίοι δίδονται στο Πίνακα 1. Ο παράγοντας cT εκφράζει τις φυσιολογικές απώλειες οι οποίες είναι συνάρτηση της θερμοκρασίας συντήρησης. Πρέπει να αναφερθεί ότι η στατιστική ανάλυση δεν έδειξε διαφορές στις απώλειες μάζας μεταξύ των δύο σειρών.

Αν από τις τιμές που προκύπτουν από την προηγούμενη σχέση, αφαιρέσουμε τις τιμές στις οποίες το έλλειμμα πίεσης υδρατμών είναι μηδενικό, (απώλειες που οφείλονται σε φυσιολογικά φαινόμενα), και διαιρώντας και τα δύο μέλη της με το χρόνο συντήρησης t, προκύπτουν τα ημερήσια ποσοστά απωλειών μάζας (ML%/day) που οφείλονται αποκλειστικά στο φυσικό φαινόμενο (έλλειμμα πίεσης υδρατμών) .

Πίνακας 1. Τιμές των παραμέτρων, συντελεστής προσδιορισμού (R^2_{adj}) και τυπικό σφάλμα απόκλισης (S.E.E.) της Σχέσης (1) για τις δυο πειραματικές σειρές.

	a ± s.e.	b ± s.e.	c ± s.e.	R^2adj.	S.E.E.
1η και 2η Σειρά	-0.139±0.007	0.537±0.014	0.0002±0.00001	0.86	0.68

Η ποσοστιαία μεταβολή τόσο της λαμπρότητας L* όσο και της αύξησης του κόκκινου χρώματος a* στους 20 °C είναι μεγαλύτερη και σημαντικά διαφορετική απ' ότι στους 10 °C. Όσον αφορά το δείκτη συνολικής μεταβολής του χρώματος ΔE, παρουσιάζει και αυτός σημαντική διαφορά μεταξύ των θερμοκρασιών συντήρησης, και στις δυο πειραματικές σειρές. Η ανάλυση διασποράς (ANOVA) έδειξαν ότι η θερμοκρασία και ο χρόνος συντήρησης έπαιξαν σημαντικό ρόλο και διαφοροποίησαν τα L*, a*, και ΔE.

Μετά από προσαρμογή του εμπειρικού μοντέλου πρόβλεψης της Κατσογιάννη (2010) ο δείκτης

συνολικής μεταβολής του χρώματος ΔΕ είναι δυνατόν να προβλεφθεί από τη Σχέση 2:

$$\Delta E = \frac{\alpha \times (1 - e^{-bt})}{e^{-c\theta}} \quad (2)$$

όπου t ο χρόνος συντήρησης σε ημέρες, θ η θερμοκρασία σε °C και a, b, c, οι παράγοντες της Σχέσης 2 που παρατίθενται στον Πίνακα 2 με τις αντίστοιχες στατιστικές παραμέτρους.

Πίνακας 2. Τιμές των παραμέτρων, συντελεστής προσδιορισμού (R_{adj}) και τυπικό σφάλμα απόκλισης (S.E.E.) της Σχέσης (2) για τις δυο πειραματικές σειρές.

	α ± s.e.	b ± s.e.	c ± s.e.	R^2_{adj} (%)	S.E.E.
1η Σειρά	4.30 ± 0.33	0.48 ± 0.06	0.07 ± 0.004	0.99	0.72
2η Σειρά	10.1 ± 0.75	0.22 ± 0.03	0.05 ± 0.005	0.97	1.23

Για την πρόβλεψη του ΔΕ υιοθετήθηκε η παρακάτω τροποποιημένη εξίσωση Arrhenius των Xanthopoulos et al. (2013):

$$A - A_0 = \kappa_{T_{ref}} \cdot t^n \cdot e^{\left[\frac{-Ea}{R}\cdot\left(\frac{1}{T}-\frac{1}{T_{ref}}\right)\right]} \quad (3)$$

όπου: A το υπό μελέτη μέγεθος ΔΕ, A_0 η αρχική τιμή του υπό μελέτη μεγέθους (στην περίπτωσή μας ΔE_0=0), k_{Tref} η σταθερά αντίδρασης στη θερμοκρασία αναφοράς (d^{-1}), t ο χρόνος συντήρησης (d), n εκθετικός παράγοντας, E_a η ενέργεια ενεργοποίησης (Kj/mol), R η σταθερά των αερίων (8.314 Kj/mol K), T η θερμοκρασία σε K, T_{ref} η θερμοκρασία αναφοράς σε K (μέσος όρος των θερμοκρασιών συντήρησης, 15 °C ή 278.16 K). Οι τιμές για τους παράγοντες k_{Tref}, n και E_a (Πίνακας 3) υπολογίζονται μέσω μη-γραμμικής παλινδρόμησης .

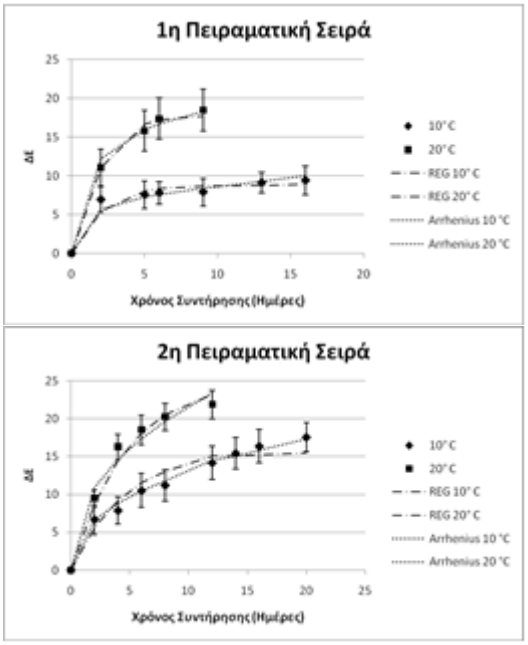
Πίνακας 3. Παράγοντες, συντελεστής προσδιορισμού ($R^2_{(adj)}$) και τυπικό σφάλμα απόκλισης (S.E.E.) της Εξίσωσης (3) για τις δυο πειραματικές σειρές.

	K_{Tref} ± s.e.	n ± s.e.	Ea ± s.e.	R^2_{adj} (%)	S.E.E
1η Σειρά	3.13 ± 0.32	0.28 ± 0.04	51,974 ± 2,910	0.99	0.70
2η Σειρά	3.79 ± 0.38	0.42 ± 0.03	33,773 ± 2,605	0.98	0.97

Στο Σχήμα 3 παρουσιάζονται οι πειραματικές τιμές σε σύγκριση με αυτές των δύο αναφερθέντων μοντέλων πρόβλεψης.

Σε ό,τι αφορά τη μη καταστρεπτική συμπίεση (σταθερή παραμόρφωση), τα πειραματικά δεδομένα έδειξαν ότι η κλίση της αντίστασης στη συμπίεση μειώνεται με το χρόνο και υπάρχει στατιστικώς σημαντική διαφορά ανάμεσα στις δύο θερμοκρασίες και στις δυο πειραματικές σειρές . Τόσο ο χρόνος όσο και η θερμοκρασία συντήρησης επηρεάζουν σημαντικά την παραπάνω μεταβολή, (P=0.001< 0.05).

Συγκρίνοντας τις δυο σειρές μεταξύ τους διαπιστώνεται ότι στους 10 °C δεν υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές, στους 20 °C όμως, οι δύο σειρές διέφεραν σημαντικά μεταξύ τους (P= 0.0007<0.05). Η διαφορά αυτή πού εκδηλώθηκε στους 20 °C ίσως να οφείλεται στο διαφορετικό στάδιο ωριμότητας των καρπών των δύο σειρών.



Σχήμα 3. Πειραματικές (σημεία) και εκτιμώμενες (γραμμές) τιμές των δύο σχέσεων πρόβλεψης του ΔΕ συναρτήσει του χρόνου συντήρησης στους 10 °C και 20 °C για την 1η (άνω) και 2η (κάτω) πειραματική σειρά.

Η γενική εξίσωση που μπορεί να περιγράψει καλύτερα τη μεταβολή της κλίσης της αντίστασης στη παραμόρφωση είναι της γενικής μορφής:

$$grad\left(\frac{f}{h}\right) = \frac{G_0}{1 + a * G_0 * t * \theta^n} \quad (4)$$

όπου, $\text{grad}\left(\frac{f}{h}\right)$ η κλίση της αντίστασης στη συμπίεση σε N/m, f η ασκούμενη δύναμη στην επιφάνεια σε N, h η απόσταση που διανύει ο δίσκος συμπίεσης κατά τη παραμόρφωση, G_0 η αρχική κλίση της αντίστασης στη συμπίεση σε N/m, t ο χρόνος συντήρησης σε ημέρες, θ η θερμοκρασία συντήρησης σε °C, a,n παράγοντες προσδιορισμού που δίνονται στο Πίνακα 4.

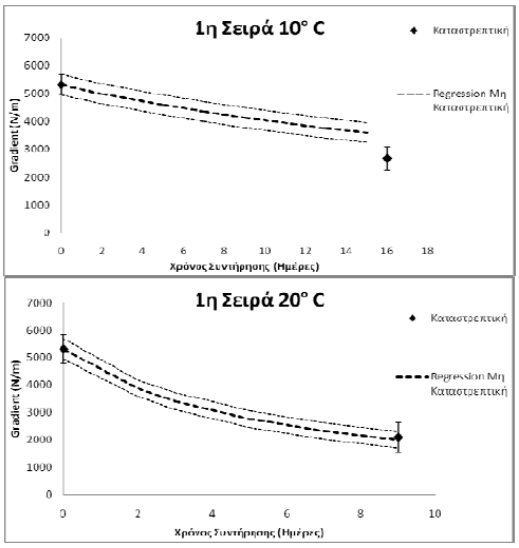
Πίνακας 4 Στατιστικοί παράγοντες, συντελεστές προσδιορισμού (R^2_{adj}) και τυπικό σφάλμα απόκλισης (S.E.E.) της σχέσης (4) για τις δυο πειραματικές σειρές.

	a ± s.e×10^{-7}	n ± s.e.	R^2_{adj}	S.E.E
1η Σειρά	0.20±0.05	2.48±0.08	0.99	83.3
2η Σειρά	2.93±1.25	1.56±0.16	0.96	229.2

Σε ό,τι αφορά τη καταστρεπτική συμπίεση, η ανάλυση διασποράς που έγινε στα δεδομένα της κλίσης της αντίστασης στην καταστρεπτική συμπίεση, έδειξε ότι στατιστικά σημαντική διαφορά υπάρχει ομοίως (όπως και στη μη καταστρεπτική

συμπίεση) μόνο στους 20 °C (P=0.019<0.05), ενώ στη μέγιστη δύναμη δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά ούτε στους 10 °C ούτε στους 20 °C.

Προκειμένου να διαπιστωθεί εάν η μη καταστρεπτική συμπίεση μπορεί να υποκαταστήσει την καταστρεπτική όσον αφορά την εκτίμηση της υφής έγινε σύγκριση των δύο αυτών μεθόδων. Η σύγκριση αυτή αφορά το μοντέλο πρόβλεψης που αναπτύχθηκε μέσω της μη-γραμμικής παλινδρόμησης (Σχέση 4) και της τελικής τιμής της κλίσης της καταστρεπτικής συμπίεσης (Σχήμα 4).



Σχήμα 4. Σύγκριση του μοντέλου πρόβλεψης της κλίσης της αντίστασης στη παραμόρφωση και της τελικής αντίστοιχης τιμής της καταστροφικής διαδικασίας στους 10 °C (άνω) και στους 20 °C (κάτω) για στην 1η πειραματική σειρά.

Η σύγκριση παρ' όλα αυτά είναι δύσκολη όπως φαίνεται, καθώς δεν γνωρίζουμε την ακριβή μορφή της καμπύλης που ακολουθεί η κλίση στη καταστρεπτική συμπίεση, κάτι που θα μπορούσε να γίνει πειραματικά με λήψη μετρήσεων σε ενδιάμεσα τακτά χρονικά διαστήματα, θα απαιτούσε όμως μεγάλο αριθμό δειγμάτων προκειμένου να μειωθεί η παραλλακτικότητα στις προβλεπόμενες τιμές.

Το μοντέλο τελικά πρόβλεψης που αναπτύχθηκε μέσω της μη-γραμμικής παλινδρόμησης για τη μη-καταστρεπτική συμπίεση, συγκρινόμενο με τις τελικές τιμές της κλίσης στην καταστρεπτική συμπίεση, δείχνει ότι δεν είναι τόσο επαρκές για να υποκαταστήσει και να προβλέψει την καταστρεπτική συμπίεση παρουσιάζοντας αποκλίσεις μέχρι και 15%.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η θερμοκρασία, ο χρόνος συντήρησης, όπως επίσης και το στάδιο συλλογής του καρπού (χωρίς να ληφθεί υπόψη η θέση του καρπού πάνω στο φυτό) επηρεάζουν σημαντικά την αναπνευστική δραστηριότητα των τοματών καθώς οι δύο σειρές διέφεραν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους. Το έλλειμμα της πίεσης των υδρατμών (WVPD) ήταν αυτό που διαδραμάτιζε σημαντικότερο ρόλο στις απώλειες μάζας. Οι απώλειες μάζας μπορούν να περιγραφούν συναρτήσει του ελλείμματος πίεσης υδρατμών και των ημερών συντήρησης λαμβάνοντας υπόψη και την αναπνοή η οποία εξαρτάται και από τη θερμοκρασία συντήρησης με μια πολυωνυμική εξίσωση.

Η μεταβολή των χρωματικών παραγόντων L*, a*, ΔΕ με το χρόνο συντήρησης, ήταν σε όλες τις περιπτώσεις μεγαλύτερη στους 20 °C απ΄ ότι στους 10 °C. Η καμπύλη πρόβλεψης της μεταβολής του ΔΕ συναρτήσει της θερμοκρασίας και του χρόνου συντήρησης είναι εκθετική με υψηλό R^2=0.99 και R^2= 0.97 για την 1η και τη 2η σειρά αντίστοιχα.

Η μεταβολή της κλίσης της αντίστασης στη συμπίεση (μη καταστρεπτική) διαφέρει μεταξύ των δυο θερμοκρασιών και στις δύο πειραματικές σειρές. Η καμπύλη πρόβλεψης της κλίσης της αντίστασης στη μη καταστροφική συμπίεση εξαρτάται από την αρχική κλίση της αντίστασης στη συμπίεση, τη θερμοκρασία και το χρόνο συντήρησης με υψηλό R^2=0.99 και R^2=0.96 για την 1η και 2η σειρά αντίστοιχα.

Δεν επιτεύχθηκε η ταυτοποίηση του τρόπου με τον οποίο επηρεάζει το έλλειμμα πίεσης των υδρατμών τη μεταβολή της κλίσης της αντίστασης στη συμπίεση οπότε θα ήταν σκόπιμο σε μελλοντικά πειράματα με ενδιάμεσα σπασίματα κατά τη συντήρηση να γίνει επαλήθευση της τελικής καμπύλης μεταβολής της κλίσης με το χρόνο συντήρησης και στις δύο θερμοκρασίες συντήρησης.

Βιβλιογραφία

Pinheiro, J., Alegria, C., Abreu, M., Gonçalves, E.M., Silva, C.L.M., 2012. Kinetics of changes in the physical quality parameters of fresh tomato fruits (Solanum lycopersicum, cv 'Zinac') during storage, *Journal of Food Engineering, 114(3):338-345.*

Požrl T., Žnidarčič D., Kopjar M., Hribar J., Simčič M., 2010. Change of textural properties of tomatoes due to storage and storage temperatures, Journal of Food, Agriculture & Environment Vol.8 (2): 292–296.

Sastry S.K., Buffington D.E., 1983. Transpiration rates of stored perishable commodities: a mathematical model and experiments on tomatoes. *International Journal of Refrigeration, 6(2):84-96.*

Sirisomboon, P., Tanaka, M., Kojima, T., 2012. Evaluation of tomato textural mechanical properties. Journal of Food Engineering, 111:618–624.

Tijskens L.M.M., Evelo R.G., 1994. Modelling colour of tomatoes during postharvest storage, *Postharvest Biology and Technology 4:* 85-98

Van Dijk C., Boeriu C., Peter F., Stolle-Smits T., Tiskens L.M.M, 2006. The firmness of stored tomatoes (cv. Tradiro). 1. Kinetic and near infrared models to describe firmness and moisture loss, *Journal of Food Engineering* 77:417-26.

Xanthopoulos G., Nastas, C.V., Boudouvis, A.G. and Aravantinos-Karlatos, E., 2013. Colour and mass transfer kinetics during air-drying of pre-treated

Oyster mushrooms (Oyster Pleurotus spp.). Drying Technology (In print).

Κατσογιάννη Α., 2010. Μεταβολή φυσιολογικών, μηχανικών και λοιπών ποιοτικών χαρακτηριστικών συντηρούμενης τομάτας βιολογικής καλλιέργειας. Μεταπτυχιακή διατριβή, Τμήμα ΑΦΠ-ΓΜ, ΓΠΑ, Αθήνα.

Λαμπρινός Γ. και Μητρόπουλος Δ., 2004. *Φορητή συσκευή και μέθοδος Μέτρησης του ρυθμού αναπνοής καρπών.* Οργανισμός Βιομηχανικής ιδιοκτησίας (OBI). Δίπλωμα ευρεσιτεχνίας Αριθμ. 1004590/2004.

Λαμπρινός Γ., Μανωλοπούλου Ε. και Μητρόπουλος Δ., (2006). Αναπνευστικός θάλαμος, Φορητή συσκευή και Μέθοδος Μέτρησης του Ρυθμού Αναπνοής Καρπών, ΔΕ αριθ. 1005205 / 02-05-2006.

Λαμπρινός Γρ. και Μητρόπουλος Δ., 2006. Φορητή Συσκευή και Μέθοδος Μέτρησης του ρυθμού Αναπνοής Καρπών που είναι συσκευασμένοι σε τροποποιημένη ατμόσφαιρα. Οργανισμός Βιομηχανικής ιδιοκτησίας (OBI). Αρ. Ευρεσιτεχνίας 1005305/02–07–2006.

Ψυχογυιού, Στ., Κατσογιάννη, Α., Μανωλοπούλου, Ε., Ξανθόπουλος, Γ., Λαμπρινός, Γρ., 2009. Εκτίμηση των απωλειών μάζας νωπής τομάτας βιολογικής καλλιέργειας κατά τη συντήρησή της με ψύξη. Πρακτικά 6ου Πανελληνίου Συνεδρίου της ΕΓΜΕ. Θεσσαλονίκη, 8-10 Οκτωβρίου 2009.

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΣΤΟΥΣ ΠΟΙΟΤΙΚΟΥΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΕΣ ΤΟΜΑΤΑΣ "CHERRY"

Δ. Λέντζου, Ι. Καρούσος, Γ. Ξανθόπουλος και Γρ. Λαμπρινός
Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Α.Φ.Π. & Γ.Μ., Ιερά Οδός 75, Τ.Κ. 11855, Αθήνα.
Τηλ. 210 529 4031, Fax. 210 529 4032, e–mail: refrigenergy@aua.gr

Σκοπός της εργασίας είναι η μελέτη της μεταβολής των ποιοτικών χαρακτηριστικών καρπών τομάτας τύπου "cherry" συντηρούμενων ασυσκεύαστων σε δύο επίπεδα θερμοκρασίας (10 και 20 ^{o}C) και τρία επίπεδα σχετικής υγρασίας (97%, έως 50%) και συσκευασμένων σε τροποποιημένη ατμόσφαιρα. Η επεξεργασία των αποτελεσμάτων έδειξε ότι: (i) Η μεταβολή των χρωματικών παραγόντων παρουσιάζει αύξηση με το χρόνο συντήρησης, είναι δε σε όλες τις περιπτώσεις μεγαλύτερη στους 20 °C από ότι στους 10 °C. Η καμπύλη πρόβλεψης της ολικής μεταβολής του χρώματος ΔΕ συναρτήσει της θερμοκρασίας και του χρόνου συντήρησης είναι εκθετική τύπου Arrhenius, με υψηλό συντελεστή προσδιορισμού και στις δύο διαδοχικές πειραματικές σειρές. (ii) Σε ό,τι αφορά την υφή, η αρχική κλίση της καμπύλης συμπίεσης παρουσιάζει μείωση με το χρόνο συντήρησης, που είναι πολύ έντονη στους 20 °C. Η ίδια τάση εμφανίζεται και στις δοκιμές σταθερής παραμόρφωσης. Η σχέση που περιγράφει τη μεταβολή της κλίσης της αντίστασης στην παραμόρφωση με το χρόνο, είναι εκθετική και στις δύο διαδοχικές πειραματικές σειρές που εξετάστηκαν. Σημαντική ήταν η μείωση της κλίσης στις χαμηλές σχετικές υγρασίες συντήρησης. (iii) Τέλος, οι απώλειες μάζας στις διάφορες συνθήκες συντήρησης συναρτήσει του ελλείμματος πίεσης των υδρατμών εκφράστηκαν από μια εκθετική σχέση.

Λέξεις κλειδιά: τομάτα "Cherry", τροποποιημένη ατμόσφαιρα, ποιότητα, απώλεια μάζας

THE EFFECT OF STORAGE CONDITIONS ON THE QUALITY CHARACTERISTICS OF "CHERRY" TOMATOES

D. Lentzou, I. Karousos. G. Xanthopoulos and Gr. Lambrinos
Agricultural University of Athens, Dep. of NRM & AE, Iera Odos 75, 11855 Athens
Tel. +30 210 5294031, Fax +30 210 5294032, e-mail: refrigenergy@aua.gr

The aim of this paper is the study of the changes in quality characteristics of "cherry" tomatoes stored either unpackaged in two temperatures (10 °C and 20 °C) and three relative humidity levels (97%, 85% and 55%), and in modified atmosphere packaging (MAP). The results show that: (i) colour variation is increased depending on storage time, while it is always more observable in 20 °C than in 10 °C. The prediction correlation of the total colour variation (ΔE) vs. temperature and storage time takes the form of an Arrhenius exponential with a high coefficient of determination (R^2_{adj}) for both experimental series. (ii) As far as texture is concerned, the initial slope of the destructive compression curve decreases with storage time, reaching its maximum decrease at 20 °C. The same tendency appears in the standard deformation monitoring. The equation describing the slope change of deformation resistance over time is exponential with a high R^2_{adj} for both tested experimental series. The slope decrease was considerable in low relative humidity levels. (iii) Finally, the mass loss dependent on the water vapour pressure deficit, under various storage conditions, was expressed with an exponential equation with high R^2_{adj}.

Key words: "cherry" tomatoes, MAP, quality, mass loss

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι μεταβολές στην ποιότητα των φρέσκων φρούτων και λαχανικών από την συγκομιδή έως την κατανάλωση είναι πολύ σημαντικές καθώς επηρεάζουν την τελική απόφαση του καταναλωτή. Οι μεταβολές αυτές οφείλονται κυρίως σε μεταβολικές διεργασίες λόγω φυσιολογικής εξέλιξης των καρπών καθώς και εξαιτίας περιβαλλοντικών παραγόντων. Οι μεταβολές αυτές μπορούν να μειωθούν σημαντικά με τις κατάλληλες συνθήκες συντήρησης με ψύξη. (Κατσογιάννη, 2010). Επιπλέον στη μείωση της υποβάθμισης της ποιότητας συμβάλλει σημαντικά και η τροποποιημένη ατμόσφαιρα (Κατσογιάννη, 2011).

Η υφή και το χρώμα είναι από τους πιο σημαντικούς παράγοντες που χαρακτηρίζουν την ποιότητα της τομάτας (Batu, 2004). Όπως προκύπτει από διάφορες μελέτες, η υποβάθμιση αυτών των δυο ποιοτικών παραγόντων περιορίζεται με συντήρηση στους 10 ^{o}C, 13 ^{o}C και 20 ^{o}C συντηρώντας σε αποδεκτά όρια μετά από διάστημα 15-20 ημερών τούς ασυσκεύστους καρπούς και για μεγαλύτερο διάστημα τούς συσκευασμένους καρπούς σε τροποποιημένη ατμόσφαιρα (Gormley, 1978; Batu, 1998; Wu et. al., 2002; Batu, 2004; Znidarcic et.al., 2006; Κατσογιάννη, 2011).

Η απώλεια υγρασίας είναι σημαντική για την διατήρηση της ποιότητας και κατ' επέκταση εμπορευσιμότητα στα νωπά προϊόντα. Σε αρκετές εργασίες έχει δειχθεί ότι η απώλεια υγρασίας εξαρτάται κυρίως από την θερμοκρασία (Cantwell et. al., 2009). Η απώλεια υγρασίας από την τομάτα εμφανίζεται ως γραμμική σε σχέση με τον χρόνο

συντήρησης (Znidarcic et. al., 2006; Κατσογιάννη, 2011).

Σκοπός της εργασίας αυτής ήταν η μελέτη της επίδρασης των συνθηκών συντήρησης στα ποιοτικά χαρακτηριστικά καρπών τομάτας τύπου "cherry", η οποία συντηρήθηκε σε διαφορετικές συνθήκες θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας. Μελετήθηκαν οι απώλειες μάζας, η αντοχή στη συμπίεση (καταστρεπτική και μη-καταστρεπτική μέθοδος) συναρτήσει του χρόνου, της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας συντήρησης, καθώς και η μεταβολή του χρώματος συναρτήσει του χρόνου και της θερμοκρασίας συντήρησης.

2.ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Στην εργασία αυτή και σε δυο πειραματικές σειρές, ήτοι 4ο χέρι συλλογής εαρινής καλλιέργειας (1η σειρά) και 1ο χέρι θερινής καλλιέργειας (2η σειρά) στον ίδιο αγρό, χρησιμοποιήθηκαν τομάτες "cherry", υβριδίου Iron F1, σταδίου ωριμότητας 4 "Pink". Οι καρποί συλλέχθηκαν από θερμοκήπιο στην περιοχή του Μαραθώνα Αττικής. Οι τομάτες μετά τη συγκομιδή μεταφέρθηκαν στο εργαστήριο, όπου πραγματοποιήθηκε διαλογή. Οι καρποί που προορίζονταν για μέτρηση των απωλειών μάζας τοποθετήθηκαν σε αλουμινένια κεσεδάκια σε ομάδες των δέκα σε θερμοκρασίες 10 oC και 20 oC και σε τρεις διαφορετικές συνθήκες σχετικής υγρασίας ανά θερμοκρασία. Οι διαφορετικές συνθήκες σχετικής υγρασίας δημιουργήθηκαν με απιονισμένο νερό και κορεσμένα διαλύματα αλάτων $MgCl_2$, NaCl στην 1η σειρά και $MgCl_2$, NaOH στη 2η σειρά, σε κελιά των 80 L. Οι τομάτες που συντηρούνταν σε συνθήκες σχετικής υγρασίας ψυκτικού θαλάμου (μάρτυρας), χρησιμοποιήθηκαν και στη μέτρηση του χρώματος. Οι μετρήσεις της μάζας και του χρώματος γίνονταν κάθε 2-3 ημέρες, η δε ταχύτητα του αέρα στο επίπεδο των καρπών δεν υπερέβη ποτέ τα 0.2 m/s .Οι τομάτες που προορίζονταν για συσκευασία μετά τη διαλογή ζυγίστηκαν, χωρίστηκαν σε ομάδες διαφορετικής μάζας των 100 g, 200 g, 300 g και 400 g και τοποθετήθηκαν στους ψυκτικούς θαλάμους μαζί με τις συσκευασίες για 24 ώρες ώστε να αποφευχθεί η εμφάνιση συμπυκνωμάτων κατά την συσκευασία τους. Μετά την πάροδο των 24 ωρών οι καρποί τοποθετήθηκαν στις συσκευασίες οι οποίες αποτελούνταν από πλαστικά φιλμ πολυαιθυλενίου χαμηλής πυκνότητας (LDPE) και πάχους 50 μm.

Αμέσως μετά τη διαλογή έγιναν μετρήσεις υφής με δοκιμές στη συμπίεση (καταστρεπτικά τεστ) σε αντιπροσωπευτικά δείγματα 50 καρπών σε κάθε σειρά, καθώς και μετρήσεις χρώματος. Εν συνεχεία τα δείγματα τοποθετήθηκαν σε ψυκτικούς θαλάμους των 10 °C και 20 °C. Τέλος οι μετρήσεις υφής που λάμβαναν χώρα μέσω σταθερής παραμόρφωσης (μή καταστροφικά τεστ) γίνονταν κάθε 2-3 ημέρες συντήρησης.

Η μέτρηση των απωλειών μάζας γινόταν με ζυγό AND (μοντέλο FA-2000) ακρίβειας ±0.01 g. Οι μετρήσεις του χρώματος των καρπών έγινε με χρωματόμετρο MINOLTA CR-300 (Konica Minolta, Japan). Η χρωματική κλίμακα που χρησιμοποιήθηκε βασιζόταν στους χρωματικούς δείκτες L*, a*, b*. Κάθε φορά λαμβάνονταν δυο μετρήσεις σε κάθε τομάτα στην ίδια περιοχή αντιδιαμετρικά του κάλυκα. Η ολική μεταβολή του χρώματος ΔE* (Total Color Difference) όπως περιγράφεται από τη σχέση

$$\Delta E=\sqrt{(\Delta L^*)^2+(\Delta a^*)^2+(\Delta b^*)^2}$$

χρησιμοποιήθηκε στην περιγραφή της ολικής μεταβολής του χρώματος των υπό μελέτη δειγμάτων.

Ο προσδιορισμός της αντίστασης των καρπών στη συμπίεση έγινε με τη βοήθεια του Texture Analyzer TA.XT2i (Stable Micro Systems, Ltd. UK) εφοδιασμένου με έμβολο κινούμενου με σταθερή προκαθορισμένη ταχύτητα. Για την εκτέλεση των δοκιμών υφής (καταστρεπτικών και μη) χρησιμοποιήθηκε δίσκος συμπίεσης διαμέτρου 7 cm. Καταστρεπτική συμπίεση πραγματοποιήθηκε στην αρχή και στο τέλος καθε πειραματικής σειράς. Μη-καταστρεπτική συμπίεση πραγματοποιήθηκε σε ένα δείγμα απο 10 ασυσκεύαστες τομάτες ανά θερμοκρασία, μετρήσεις δε λαμβάνονταν στο ίδιο δείγμα κάθε 2-3 μέρες συντήρησης. Κατά τη μη-καταστρεπτική συμπίεση η παραμόρφωση που εκτελούσε ο δίσκος συμπίεσης ήταν 1.0 mm από την επαφή του με τον καρπό. Ο καρπός ετοποθετείτο πάντοτε με τον πολικό του άξονα παράλληλο στη πλάκα συμπίεσης ώστε η δοκιμή να λαμβάνει χώρα πάντα στην περιοχή του ισημερινού της τομάτας. Στην καταστρεπτική συμπίεση η διαδικασία τερματιζόταν όταν σημειωνόταν ρήξη του επιδερμικού ιστού. Οι καρποί πριν την εκτέλεση των δοκιμών υφής αφήνονταν για μία ώρα σε θερμοκρασία περιβάλλοντος. Η επεξεργασία των δεδομένων υφής έγινε με το πρόγραμμα TEXTURE EXPONENT 32 (ver. 6.0.4.0).

Η θερμοκρασία και η υγρασία στους θαλάμους και τα κελιά καταγράφονταν με αισθητήρες Hobo 8H (Onset Computer Corp., Massachusetts, USA) οι οποίοι συνδέονταν σε σταθμό αποθήκευσης δεδομένων Hobo Micro Station (Onset Computer Corp., Massachusetts, USA). Οι αισθητήρες ήταν διακριτικής ικανότητας 0.4 °C, 0.5% και ακρίβειας ±0.7 °C, ±3% αντίστοιχα για θερμοκρασία και υγρασία. Τέλος η στατιστική ανάλυση των πειραματικών δεδομένων έγινε με το στατιστικό πρόγραμμα Statgraphics Centurion XVI (Statpoint Technologies, Virginia, USA) σε επίπεδο σημαντικότητας P≤0.05.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΧΟΛΙΑ

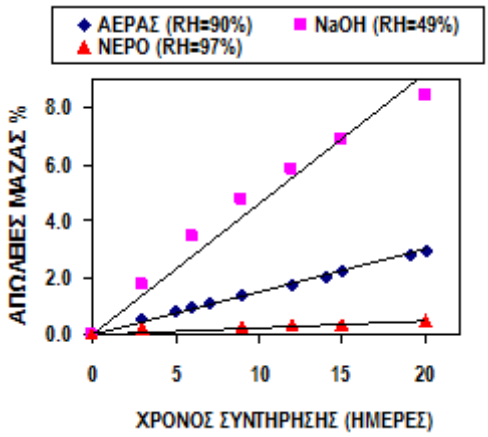
3.1 Απώλειες μάζας

Οι απώλειες μάζας των καρπών στις δυο θερμοκρασίες αυξάνονταν με τον χρόνο. Οι καρποί που βρίσκονταν στους 20 oC είχαν μεγαλύτερες απώλειες. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 1 ο χρόνος και η σχετική υγρασία συντήρησης επηρέασαν την τελική τιμή των απωλειών μάζας. Σε υψηλότερη σχετική υγρασία οι τελικές απώλειες ήταν σημαντικά μικρότερες για τον ίδιο χρόνο συντήρησης.

Από την ανάλυση διασποράς (ANOVA) και για τις δυο σειρές φαίνεται ότι τόσο η θερμοκρασία όσο και ο χρόνος συντήρησης επηρέασαν σημαντικά το

ποσοστό απωλειών μάζας (P=0.000<0.05). Η σχέση η οποία δίνει μια ικανοποιητική προσέγγιση των απώλειών μάζας με το χρόνο συντήρησης είναι η *ML%= α×t* όπου: ML% οι απώλειες μάζας (%), α η κλίση της ευθείας και t ο χρόνος συντήρησης (d).

Στον Πίνακα 1 παρουσιάζονται οι κλίσεις α και οι συντελεστές προσδιορισμού R^2 των γραμμικών αυτών σχέσεων που περιγράφουν τις απώλειες μάζας συναρτήσει του χρόνου στις αντίστοιχες θερμοκρασίες και σχετικές υγρασίες συντήρησης.



Σχήμα 1. Μεταβολή των απωλειών μάζας τοματών τύπου "cherry" που συντηρήθηκαν στους 10 °C και σε διαφορετικές σχετικές υγρασίες (2η πειραματική σειρά).

Πίνακας 1. Κλίσεις α και συντελεστές προσδιορισμού R^2 των απωλειών μάζας συναρτήσει του χρόνου συντήρησης για τη 2η πειραματική σειρά.

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (°C)	RH (%)	α	R^2
10	97	0.023	0.941
10	90	0.145	0.999
10	49	0.042	0.980
20	96	0.011	0.956
20	64	0.884	0.994
20	54	0.837	0.996

3.2 Χρώμα

Ο δείκτης συνολικής μεταβολής του χρώματος ΔΕ, παρουσιάζει σημαντική διαφορά μεταξύ των θερμοκρασιών συντήρησης. Η ανάλυση διασποράς (ANOVA) έδειξε ότι τόσο η θερμοκρασία όσο και ο χρόνος συντήρησης έπαιξαν σημαντικό ρόλο και διαφοροποίησαν το δείκτη ολικής μεταβολής του χρώματος. Για την πρόβλεψη του δείκτη ολικής μεταβολής του χρώματος ΔΕ υιοθετήθηκε μια τροποποιημένη εξίσωση Arrhenius (Xanthopoulos et al., 2013),

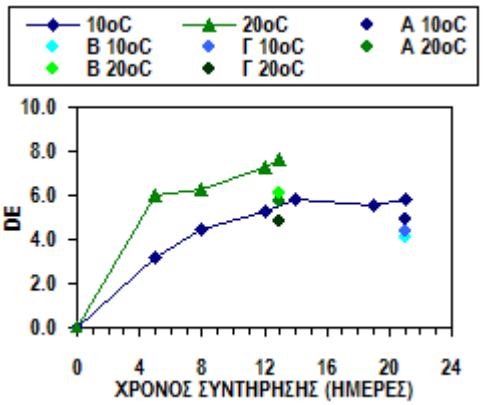
$$A=A_o+k(T_r)\,t^{n'}\exp\left[-\frac{E_a}{R}\left(\frac{1}{T}-\frac{1}{T_r}\right)\right]$$

όπου: A το υπό μελέτη μέγεθος ΔΕ, A_0 η αρχική τιμή του υπο μελέτη μεγέθους $\Delta E_0=0$, k_{Tr} η σταθερά αντίδρασης στη θερμοκρασία αναφοράς (d^{-1}), t ο χρόνος συντήρησης (d), n ο εκθετικός παράγοντας, E_a η ενέργεια ενεργοποίησης (Kj/mol), R η σταθερά των αερίων (8.314 Kj/mol K), T η θερμοκρασία σε K και Tr η θερμοκρασία αναφοράς σε K (μέσος όρος των θερμοκρασιών συντήρησης, 15 °C ή 288.16 K). Οι τιμές για τους παράγοντες k_{Tref}, n και E_a (Πίνακας 2) υ πολογίζονται μέσω μη-γραμμικής παλινδρόμησης (non-linear regression).

Πίνακας 2. Παράγοντες, συντελεστής προσδιορισμού ($R^2_{(adj)}$) και τυπικό σφάλμα απόκλισης (S.E.E.) της εξίσωσης Arrhenius για τη 2η πειραματική σειρά.

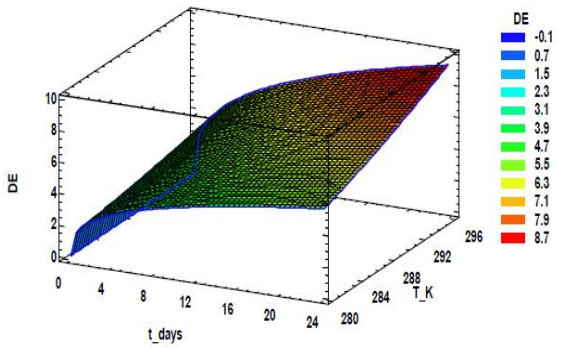
Parameter	Estimate	Asymptotic Standard Error
k	2.547	0.25
n	0.33	0.04
Ea	23,249	2,250

Στο Σχήμα 2 παρουσιάζονται οι πειραματικές τιμές για την ολική μεταβολή του χρώματος ΔΕ τόσο για τους ασυσκεύαστους όσο και για τους συσκευασμένους καρπούς. Όπως φαίνεται η ολική μεταβολή του χρώματος ΔΕ των συσκευασμένων καρπών καθυστέρησε σημαντικά τόσο στους 20 °C όσο και στους 10 °C.



Σχήμα 2. Μεταβολή του δείκτη ολικής μεταβολής του χρώματος ΔΕ συναρτήσει του χρόνου συντήρησης στους 10 °C και 20 °C για την 2η πειραματική σειρά τόσο για τα ασυσκεύαστα όσο και για τα συσκευασμένα.

Στην επιφάνεια απόκρισης Σχήμα 3, απεικονίζεται η ολική μεταβολή του χρώματος ΔΕ με το χρόνο και τη θερμοκρασία συντήρησης όπως αποδίδεται από την εξίσωση πρόβλεψης τύπου Arrhenius.



Σχήμα 3: Επιφάνεια απόκρισης του ΔΕ σε σχέση με το χρόνο και τη θερμοκρασία συντήρησης όπως προέκυψε από τη μη-γραμμική παλινδρόμηση των πειραματικών δεδομένων με την τροποποιημένη εξίσωση Arrhenius.

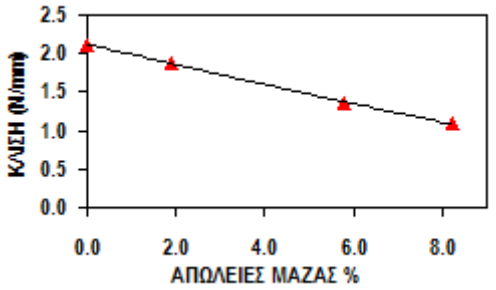
3.3 Υφή

Από τα πειράματα υφής, η κλίση της αντίστασης στη συμπίεση στα πειράματα σταθερής παραμόρφωσης (μη καταστροφικά) μειώνεται όσο μεγαλύτερη είναι η θερμοκρασία, υπάρχει δε στατιστικώς σημαντική διαφορά ανάμεσα στις δύο θερμοκρασίες συντήρησης και στις δυο πειραματικές σειρές. Τόσο ο χρόνος όσο και η θερμοκρασία συντήρησης παίζουν σημαντικό ρόλο στη μεταβολή αυτή, όπως έδειξε η ανάλυση διασποράς (P=0.000< 0.05).

Επιπλέον, σημαντικό ρόλο στη μεταβολή της κλίσης της αντίστασης στη συμπίεση παίζουν και οι απώλειες μάζας που υφίστανται οι καρποί κατά την διάρκεια της συντήρησης όπως έδειξε η στατιστική ανάλυση (P=0.000<0.05). Η σχέση που μπορεί να περιγράψει καλύτερα τη μεταβολή της κλίσης της αντίστασης στη παραμόρφωση είναι της γενικής μορφής:

$$\text{grad}\left(\frac{F}{h}\right)=\frac{1}{a+bx^2}$$

όπου: $\text{grad}\left(\frac{F}{h}\right)$ η κλίση της αντίστασης στη συμπίεση σε N/mm, F η ασκούμενη δύναμη στην επιφάνεια σε N, h η απόσταση που διανύει ο δίσκος συμπίεσης (παραμόρφωση) και x: οι απώλειες μάζας (%) (Σχήμα 4). Η ίδια σχέση μπορεί να εκφράσει και την καταστρεπτική μέθοδο καθώς μετά από στατιστική ανάλυση αυτή η σχέση μπορεί να περιγράψει καλύτερα το φαινόμενο με R^2_{adj}= 0.90.



Σχήμα 4 : Μεταβολή της κλίσης της αντίστασης στην παραμόρφωση για τη μη καταστρεπτική μέθοδο στους 20 ο C (2η πειραματική σειρά).

3.4 Ολικά διαλυτά στερεά

Τα ολικά διαλυτά στερεά τέλος δεν εμφάνισαν σημαντική μεταβολή κατά τη συντήρηση των καρπών, σε καμία από τις δυο πειραματικές σειρές οι οποίες διέφεραν μεταξύ τους. Στον Πίνακα 3 παρουσιάζονται οι μέσοι όροι των ολικών διαλυτών στερεών για τα διάφορα είδη συσκευασίας καθώς και για τους ασυσκεύαστους καρπούς για κάθε πειραματική σειρά.

Πίνακας 3. Μέσοι όροι των τελικών τιμών των ολικών διαλυτών στερεών δειγμάτων που συντηρήθηκαν ασυσκεύαστοι στον αέρα καθώς και συσκευασμένων για κάθε είδος συσκευασίας.

1η ΣΕΙΡΑ	ΑΕΡΑΣ ΑΡΧΙΚΑ	ΣΥΣ 1Α	ΣΥΣ 2Α	ΣΥΣ 3Α	ΣΥΣ 3Β	ΑΕΡΑΣ ΤΕΛΙΚΑ
10	7.63	7.40	7.15	6.35	7.30	7.23
20	7.63	7.50	7.55	8.00	8.10	7.57
2η ΣΕΙΡΑ	ΑΕΡΑΣ ΑΡΧΙΚΑ	ΣΥΣ Α	ΣΥΣ Β	ΣΥΣ Γ	ΑΕΡΑΣ ΤΕΛΙΚΑ	
10	4.84	5.54	5.92	6.06	5.26	
20	4.84	4.88	5.14	4.90	5.70	

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η θερμοκρασία και ο χρόνος συντήρησης αυξάνουν σημαντικά τις απώλειες μάζας, ενώ η σχετική υγρασία συντήρησης μειώνει τις απώλειες. Η μεταβολή του χρώματος τών ασυσκεύαστων καρπών τομάτας τύπου “cherry” εξαρτάται από τη θερμοκρασία και το χρόνο συντήρησης. Η τροποποιημένη ατμόσφαιρα καθυστέρησε σημαντικά τη μεταβολή του χρώματος τόσο στους 20 ºC όσο και στους 10 ºC.

Ο χρόνος και η θερμοκρασία συντήρησης παίζουν σημαντικό ρόλο στην υποβάθμιση της υφής (μείωση της κλίσης της αντίστασης στη συμπίεση) υποβάθμιση που επιτείνεται με την αύξηση των απωλειών μάζας.Τα ολικά διαλυτά στερεά τέλος δεν εμφάνισαν ιδιαίτερη μεταβολή κατά τη συντήρηση των καρπών.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Batu, A., 2004. Determination of acceptable firmness and colour values of tomatoes. Journal of food engineering. 61: 471-475.

Batu, A.., 1998. Some affecting on determination and measurement of tomato firmness. Turkish journal of agriculture and forestry. 22: 411-418.

Cantwell, M., Nie, X., Hong, G., 2009. Impact of storage conditions on grape tomato quality. Proceedings from 6th ISHS Postharvest symposium. Antalya, Turkey, April 8-15.

Gormley, R., Egan, S., 1978. Firmness and colour of the fruit of some tomato cultivars from various sources during storage. Journal of the science of food and agriculture. 29: 534-538.

Wu, T., Abbot, J.A., 2002. Firmness and force relaxation characteristics of tomatoes stored intact or as slices. Postharvest biology and technology. 24: 59-68.

Xanthopoulos G., Nastas, C.V., Boudouvis, A.G. and Aravantinos-Karlatos, E., 2013. Colour and mass transfer kinetics during air-drying of pre-treated Oyster mushrooms (Oyster Pleurotus spp.). Drying Technology (In print).

Znidarcic, D and Pozrl, T., 2006: Comparative study of quality changes in tomato cv. "Malike" (Lycopersicon esculentum Mill.) whilst stored at different temperatures. Acta agriculturae Slovenica. 87 (2): 235-243.

Κατσογιάννη, Α., 2010. Μεταβολή φυσιολογικών, μηχανικών και λοιπών ποιοτικών χαρακτηριστικών συντηρούμενης τομάτας βιολογικής καλλιέργειας. Μεταπτυχιακή διατριβή, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών.

Κατσογιάννη, Α., Ψυχογυιού, Στ., Ξανθόπουλος, Γ., Χατζής, Ε., Μανωλοπούλου, Ε., Αραβαντινός-Καρλάτος, Ε., Λαμπρινός, Γρ., 2011. Συντήρηση συσκευασμένης τομάτας βιολογικής καλλιέργειας σε τροποποιημένη ατμόσφαιρα. Πρακτικά 7ου πανελλήνου συνεδρίου της ΕΓΜΕ. Αθήνα, 24-27 Νοεμβρίου 2011.

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΒΙΟΔΙΑΣΠΩΜΕΝΗΣ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑΣ ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΜΕΝΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ ΣΕ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑ (ΕΜΑΡ) ΓΙΑ ΤΟΜΑΤΙΝΙΑ – ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ ΚΑΙ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Δημήτριος Μπριασούλης, Αντώνιος Μυστριώτης, Αναστάσιος Γιαννούλης, Δημήτριος Γιαννόπουλος
Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών, Τομέας Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Ιερά Οδός 75, Αθήνα, Τ.Κ. 11855

Στην εργασία παρουσιάζεται η βελτιστοποίηση ενός ολοκληρωμένου σχεδιασμού συσκευασίας τροποποιημένης ατμόσφαιρας σε ισορροπία (ΕΜΑΡ) κατασκευασμένης από υλικά βιολογικής προέλευσης. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση ως υλικού συσκευασίας ένος συνδυασμού δυο διαφορετικών βιοδιασπώμενων πλαστικών υλικών βιολογικής προέλευσης, μεμβράνης PLA 30μm πάχους με μικρο-οπές και Mater-Bi (MB) 38μm πάχους. Η παρούσα μελέτη βασίστηκε σε αποτελέσματα προηγούμενης ερευνητικής εργασίας σχετικής με το σχεδιασμό βέλτιστης βιοδιασπώμενης συσκευασίας ΕΜΑΡ με υλικό συσκευασίας μόνο το PLA. Κύριος στόχος ήταν η δημιουργία μιας συσκευασίας ΕΜΑ έτσι ώστε να ελαχιστοποιηθεί η ποσότητα του υλικού κάλυψης και να μειωθεί σημαντικά το κόστος παραγωγής της χωρίς να επηρεαστούν οι βέλτιστες συνθήκες για το μίγμα αερίων εντός της συσκευασίας. Αναπτύχθηκαν βιοδιασπώμενες συσκευασίες ΕΜΑ για 250g τοματίνια με συνδυασμό φύλλων PLA – Mater-Bi, αφού πρώτα υπολογίσθηκαν τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της συσκευασίας. Εργαστηριακά πειράματα για τις εν λόγω συσκευασίες πραγματοποιήθηκαν για την επιβεβαίωση του βέλτιστου σχεδιασμού και της συμπεριφοράς της κάθε συσκευασίας ΕΜΑ. Οι συσκευασίες αποθηκεύτηκαν σε θάλαμο ελεγχόμενων συνθηκών ώστε να αναπαρχθούν ρεαλιστικές συνθήκες θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας εμπορίου για φρέσκα φρούτα και λαχανικά (20°C, 65%RH). Στη διαδικασία βελτιστοποίησης του σχεδιασμού χρησιμοποιήθηκαν και τρισδιάστατες αριθμητικές προσομοιώσεις. Τα πειραματικά και αριθμητικά αποτελέσματα επιβεβαίωσαν την επίτευξη των επιδιωκόμενων τιμών συγκεντρώσεων του μίγματος αερίων εντός της συσκευασίας,, ενώ παράλληλα μειώθηκε κατά ένα σημαντικό ποσοστό το κόστος παραγωγής της συσκευασίας συγκριτικά με αυτή που χρησιμοποιεί ως υλικό κάλυψης μόνο μεμβράνη PLA. Συγκριτικά αποτελέσματα με μη συσκευασμένα δείγματα ελέγχου αλλά και συμβατικές συσκευασίες προπυλενίου (BOPP) έδειξαν επιμήκυνση του χρόνου ζωής για τα τοματίνια διατηρώντας τα σε υψηλά επίπεδα ποιότητας.

Λέξεις κλειδιά: συσκευασία τροποποιημένης ατμόσφαιρας, υλικό κάλυψης, μείωση κόστους συσκευασίας, εργαστηριακά πειράματα, αριθμητική προσομοίωση, PLA, Mater-Bi

INTEGRATED DESIGN OF BIO-BASED EMA PACKAGE FOR CHERRY TOMATOES – EXPERIMENTAL AND NUMERICAL STUDY

Demetrios Briassoulis, Antonios Mistriotis, Anastasios Giannoulis, Demetrios Giannopoulos
Laboratory of Farm Structures, Natural Resources Management & Agricultural Engineering, Agricultural University of Athens, Iera Odos 75, 11855, Athens
briassou@aua.gr, amistr@aua.gr, agian@aua.gr, dgian@aua.gr

This study presents the optimization of an integrated design of a bio-based EMA package for cherry tomatoes. Optimization is achieved by combining 30μm laser micro-perforated Poly-lactic Acid (PLA) and 38μm Mater-Bi (MB) bio-based biodegradable packaging films. This study was based on previous research work results regarding the optimum design of an EMA package using as packaging material only PLA. The aim was to create the bio-based EMA package in a way that the packaging material is minimized and the cost is decreased without affecting the in-package optimum conditions for the gas mixture. The geometrical characteristics of the EMA packages of PLA/MBintegrated packaging material were calculated and packages were developed for 250g of cherry tomatoes each. Laboratory tests were employed for the validation of the optimum EMA package using as packaging material a combination of micro-perforated PLA and Mater-Bi films. Packages were stored in a controlled climate chamber so that realistic shelf conditions for the fresh commodities would be represented (20°C, 65% RH). Parallel 3D numerical simulations were used in the optimization processs. The experimental and numerical results confirmed that the targeted in-package gas mixture concentrations were achieved for the integrated bio-based EMA, while the EMA package cost was reduced compared to the pure PLA EMA package. Comparisons to non-packed cherry tomatoes and conventional oriented polypropylene (BOPP) EMAP showed that the PLA/MB EMAP is able to prolong the shelf life-time of cherry tomatoes while retaining them at high quality.

Key words: EMAP, packaging material, package cost reduction, laboratory experiments, numerical simulation, PLA, Mater-Bi

1. INTRODUCTION

The demand of the society for the improvement of food quality is more than evident in the last two decades. Equilibrium Modified Atmosphere Packaging (EMAP) is a relatively new method for prolonging shelf-life and preserving fresh products of

high quality. The method aims at reducing the respiration rates of the commodity along with the in-package regulation of the relative humidity that is responsible for the development of several diseases.

Low density polyethylene (LDPE) and isotactic polypropylene (PP) are the most common packaging materials used nowadays. However, both LDPE and PP are not biodegradable, fossil oil based materials (Farber & Dodds, 1995) aggravating the continuous environmental pollution caused by non-degradable synthetic polymer wastes. Developing and using bio-based biodegradable polymers is considered as the most thorough method for resolving this problem.

Experimental and numerical studies on EMA packaging of (Briassoulis et al, 2013) showed that PLA films can provide increased shelf-life for cherry tomatoes and peaches while preserving them at a better quality when compared to Polypropylene (PP) films. The bio-based EMAP design presented in (Briassoulis et al, 2013) was further optimized in terms of packaging materials. This paper presents the integrated design of an optimized bio-based EMA package for cherry tomatoes achieved by combining Poly-lactic Acid (PLA) and Mater-Bi biodegradable packaging films. The design of the EMA package using as packaging material these two environmental friendly bio-based plastic films was based on the fact that they both have significant permeability to water vapor compared to conventional films.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1. PLA plastic film

PLA is a bio-based plastic compostable material that is stable within the functional life time of a package for fruits and vegetables; its mechanical properties and processability are sufficient to make thin films that fulfill fruit packaging requirements; its radiometric properties (transparency) satisfy the requirements of fresh fruit and vegetable packaging; its gas permeability properties are suitable for tuning an EMAP system and is also an economically feasible material to use as a packaging polymer (Bogaert, 2000).

2.2. Mater-Bi plastic film

Mater-Bi film which has higher WV permeability than PLA (Briassoulis et al, 2013) is a family of completely biodegradable and compostable materials produced by Novamont S.p.A. based on renewable raw materials (e.g. starches, vegetable oils) that are complexed with biodegradable synthetic polyesters. Mater-Bi biodegrades completely in composting, soil, fresh and salt water and is considered to be a compostable material without ecotoxicity according to the European standard CEN EN13432 (CEN, 2005).

2.3. Targeted Headspace EMAP conditions

The targeted headspace EMAP conditions depend on the packaged commodity and the storage conditions. Extensive laboratory experiments (D' Aquino, 2011) have shown that for given storage conditions, specific in-package concentration values of CO_2, O_2 and Water Vapour (WV) could improve the shelf life and quality of cherry tomatoes. Transpiration and respiration are complex biological processes and the corresponding rates under given environmental conditions vary with respect to cultivars. The storage conditions for the cherry tomatoes were 18-20°C and 60-65% RH, the respiration rate was 12-15 ml (CO_2) h^{-1} and the transpiration rate 4-6 g (H_2O) d^{-1}. The headspace targeted conditions for the EMA package were specified from the laboratory experiments for 1kg of cherry tomatoes (D' Aquino, 2011) to be 2-6 kPa CO_2, 15-20 kPa O_2, 18-20°C and 80-90% RH.

2.4. Combining PLA and Mater-Bi. Theory and Calculations

Based on Fick's Law of diffusion:

$$J_{WV} = P_m\, A\, \frac{\Delta C_{WV}}{\Delta x} \quad (1)$$

Where J_{WV} *(g/s):* water vapour mass flux; P_m *(g/ms):* permeability of packaging material; $A(m^2)$*:* packaging film area; ΔC_{WV} : water vapour mass fraction difference between environment and package headspace; $\Delta x(m)$: packaging film thickness

For a combination of two different packaging materials

$$J_{WV} = (P_{m1}\, A_1 + P_{m2}\, A_2)\, \frac{\Delta C_{WV}}{\Delta x} \quad (2)$$

$$A_1 + A_2 \geq A_{min} \quad (3)$$

Where P_{mi} (g/ms): permeability of packaging material *I;* A_i (m^2): area of packaging film *i* ; A_{min} is the minimum area of packaging film which can wrap the required produce quantity volume.

From these equations areas A_1 and A_2 can be defined since:

J_{WV} can be measured through gravimetrical lab experiments

P_{m1}, P_{m2} have been measured through lab experiments (Mistriotis et al., 2012)

Δx is either known from the thin film manufacturer or can be measured

ΔC_{WV} can be defined based on the needs of the packaged produce (the *RH* of the storage environment and the targeted *RH* of the headspace)

The micro-perforation of the package is designed to achieve the targeted head-space CO_2, O_2 concentrations based on the empirical modification of Fick's Law of diffusion regarding diffusion through perforations (Chung et al., 2003):

$$J_{gas} = D\, A_p\, \frac{\Delta C_{gas}}{L + kd} \quad (4)$$

Where J_{gas} (m^3/s)*:* gas volume flux; D (m^2/s)*:* diffusion coefficient; A_p (m^2)*:* perforation area; ΔC_{gas}: gas (CO_2, O_2) mass fraction difference between the two ends of the perforation (environment and in-package); L *(m)* : film thickness; $d(m)$: perforation

diameter; *k* : factor characteristic of the end effects of the perforation

2.4.1. *Modeling*

An optimized EMAP system, with a combination of PLA/MB films, was modeled for the case of cherry tomatoes. The data used with the Mater-Bi/PLA EMAP film combination are as follows:

J_{wv} =5 g/day (transpiration)
J_{co2}= 12 ml/h (or 0.14g/day) (respiration)
$D_{CO2\ in\ air}$= 1.4 10^{-5} m^2/s (Massman, 1998)
P_{PLA} = 4.66 10^{-5} (g/ms) (Mistriotis et al., 2012)
$P_{Mater\text{-}Bi}$ = 1.40 10^{-4} (g/ms) (Mistriotis et al., 2012)
Δx = 30μm
$RH_{headspace}$=80-90% (targeted value)
$RH_{environment}$=60-65% (storage value)
ΔC_{WV} calculated from the storage and the targeted in-package RH = 0.00278 (set as mass fraction difference, calculated by psychrometric charts for temperature equal to 19°C)
$C_{co2\text{-}headspace}$ = 3-5% (targeted value)
$C_{co2\text{-}environment}$ = 0 (storage value)

2.4.2. *Design*

Following the above modeling, the design of the EMAP system using the selected PLA and Mater-Bi films for cherry tomatoes, was based on three requirements:

Geometric constraint: For an EMA Package containing 250g of cherry tomatoes of a given average dimension it was calculated that a minimum packaging material area cannot be less than 400 cm^2. This means that for a combination of two packaging materials (PLA/MB) the total film area should satisfy the constraint:

$$A_1 + A_2 \geq 0.04\ (m^2) \qquad (5)$$

Targeted headspace RH: Based on the different WV permeability for the Mater-Bi thin film (compared to the PLA film) obtained by the lab experiments and using equations (2) and (5), EMA packages were designed after calculating A_1 and A_2 for achieving the targeted RH in-package regulation.

Targeted headspace CO_2 and O_2: As PLA and Mater-Bi films are practically impermeable to CO_2 the CO_2 and O_2 regulation is achieved through the design of proper micro-perforations on the PLA film. Using equation (4) the number and the geometrical characteristics of the micro-perforations were calculated in order to reach the targeted CO_2 and O_2 values of the head-space

2.5 Laboratory experiments

Bio-based EMAP design bags, based on combined PLA/MB films, were developed at the laboratory of AUA, specifically for cherry tomatoes. The required PLA (A_1) and MB (A_2) film areas were calculated according to the design approach described in the previous section as follows:

PLA/MB EMA Package for 250g of cherry tomatoes (*Ornella* and *Genio*) with 5 micro-perforations of 200μm diameter made on the PLA 30μm film with $P_{Mater\text{-}Bi}$ = 1.40 10^{-4} g/ms:

- $A_{Mater\text{-}Bi}$ =201.64 cm2 (≈1/2 of total area)
- A_{PLA}=198.36 cm2 (≈ 1/2 of total area)

A composite bio-based EMA package for 250g of cherry tomatoes was made of PLA 30μm film with 5 micro-perforations of 200μ diameter and PLA: MB film area ratio 50:50.

The laboratory experiments with the innovative bio-based PLA/MBEMAP systems were conducted in a 600L controlled temperature and humidity chamber set at storage conditions: 20◦C, RH 65%. Oriented Polypropylene (BOPP) bags were also developed for comparison purposes. Three repetitions were tested for each bag. Two non-packed samples of 250g cherry tomatoes were used as control.

Every day each bag was weighed on a sensitive balance Ohaus Ts4kd Precision Standard (accuracy ± 0.02 g). From the gravimetrical measurements the weight loss of the produce could be recorded. Also the in-package RH could be estimated since the permeability of the packaging membranes (PLA/MB), their areas and the storage RH were known. The CO_2 and O_2 in-package concentration in equilibrium was measured with a QUBIT S147 Rapid Response O_2/CO_2 Analyzer device. In addition each bag was visually inspected for signs of infections or decay.

2.6 3D Numerical Simulations of a multi-gas diffusion model

The 3D numerical simulations were carried out using the commercial software ANSYS CFX 13.0. The Navier-Stokes equations (Versteeg & Malalasekera, 1995) were modified in order to solve the single diffusion problem considering negligible the mass transport due to convection. The mesh consisted of tetrahedral elements. Simulations were steady-state since preliminary laboratory experiments showed that pre-equilibrium time period cannot affect the mixture concentrations at equilibrium inside the package. For the EMAP design numerical model the gas mixture consisted of CO_2, O_2, WV and N_2. The diffusion of each gas was considered to be independent of the diffusion of the other gases. In each fruit case constant respiration (J_{co2}=12ml/h) and transpiration rate (J_{wv}=5g/day) was assumed and a constant value of temperature and RH for the ambient area.

A 3D parallelepiped package model was created (Figure 1) and was assumed to be in storage conditions, namely 65% RH and 20°C. In Figure 1 the simulated cherry tomatoes can be observed as well as the PLA part of the EMA package envelope Attempts to simulate the actual membranes thicknesses increased unreasonably the number of elements in the mesh and the computational time needed to reach convergence. Instead thickness was modeled equal to 1mm for both membranes with equivalent WVTR (water vapor transmission) to simulate the gas transport properties of the real 30μm

PLA and the 38μm Mater-Bi films. The dimensions of the package were 6.4x6.4x12.4cm with an envelope area of 400cm^2.

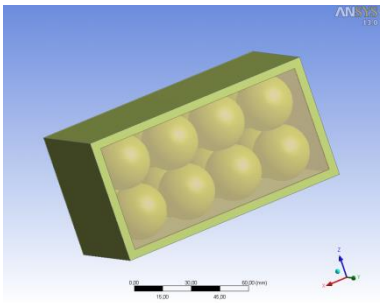


Figure 1. Geometry of the combined PLA – Mater-Bi EMA package for cherry tomatoes.

An equivalent perforation pattern was also used in the numerical simulations to model the gas transport. The number and the diameter of the model perforations were estimated from equation (4) taking into account the thickness of the model membranes. There were 4 perforations in the equivalent 1mm thick PLA membrane of the numerical model. The perforations diameters of the modeled EMAP were 0.68mm, simulating the equivalent gas transfer through real EMAP package perforation patterns of 5 200μm diameter holes. Equivalence was achieved by demanding that the transmissions of a gas through the equivalent perforations of the numerical model and those of the real micro-perforated EMAP for the cherry tomatoes are identical.

The fruits were simulated as spherical objects based on their average diameter. The mesh was uniformly formed except the locations close to the perforations were finer mesh was essential. Tests on finer meshes showed no sensitivity of the results.

Kinematic diffusivities of each gas in N_2 were set based on the international literature (Massman, 1998): $D_{CO2\text{-}N2}$=1.6E-05m^2/s, $D_{O2\text{-}N2}$=2.0E-05m^2/s and $D_{H2O\text{-}N2}$=2.4E-05m^2/s The entire EMAP model was assumed to be stored in 65% RH, temperature of 20°C and ambient atmosphere of 21% O_2 and 0% CO_2 (given as mass fractions - input to the software for the boundary conditions set up).

Both plastic membranes (PLA/MB) were modeled as volumes where each gas of the mixture diffused according to its permeability in the membranes. The kinematic diffusivities of the gases representing their diffusion through the PLA and the Mater-Bi film were measured at the laboratory (*HortiBioPack*). For the PLA: $D_{CO2\text{-}PLA}$=3.2E-11m^2/s, $D_{O2\text{-}PLA}$=7.8E-11m^2/s and $D_{H2O\text{-}PLA}$=5.8E-08m^2/s. For the Mater-Bi $D_{CO2\text{-}PLA}$=1.28E-10m^2/s, $D_{O2\text{-}PLA}$=3.12E-10m^2/s and $D_{H2O\text{-}PLA}$=1.74E-07m^2/s. Kinematic diffusivities through PLA or Mater-Bi membrane were also adjusted to the fact that their equivalent thickness was equal to 1mm for the simulation, while for the laboratory experiments a 30μm thickness PLA and a 38μm Mater-Bi films were used.

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Cost Reduction

The aim of the study was to optimize EMA packages of 250g cherry tomatoes in terms of cost. This could be achieved by reducing the packaging material area and correspondingly the cost of the entire package. However, this had to be done without affecting the in-package targeted conditions in order to sustain the optimum gas mixture concentrations. Reducing the PLA area on a pure PLA EMAP would lead to increased in-package RH that exceeds the targeted conditions. A combined PLA/MB EMAP system material takes advantage of the fact that Mater-Bi has higher WV permeability than PLA. This innovative integrated bio-based EMAP solution was shown to actually provide very good results.

Figure 2. EMAP systems based on 30 μm PLA film (top) and composite bio-based EMAP system made of micro-perforated PLA film (1/2) and Mater-Bi film (1/2) (bottom).

The comparison between the pure PLA 30 μm based EMAP and the composite PLA/MB films based EMAP shown in Figure 2 reveals the significant economy in materials and the associated cost reduction.

For 250g cherry tomatoes, it has been calculated that a single PLA EMA package cannot have an area less than 500cm^2 (Briassoulis et al, 2013) in order to avoid high in-package RH. The PLA/MBEMA packages presented here have a total area of 400cm^2. This means at least a 20% reduction for the packaging material that consequently leads to a similar reduction of the EMA package cost.

3.2 HEADSPACE GAS CONCENTRATIONS

The headspace gas mixture concentrations results of the numerical model and the laboratory experiments were in good agreement and did not exceed the targeted conditions. From the gravimetrical measurements the in-package RH was calculated equal to 86% while the numerical simulation provided a value of RH equal to 88%. For the laboratory experiments the CO_2 partial pressure was measured equal to 4.0kPa when the numerical simulation result was a little higher equal to 5.1kPa. The observed small deviations between the experimental and numerical data were caused by the variability of the physiological processes of the produce and are considered acceptable, within the range of the targeted EMAP headspace conditions. It

is evident though that the PLA/MB EMA packages do not exceed targeted conditions and could provide the optimum micro-environment for fresh commodities.

3.3 SHELF LIFE-TIME

The shelf life-time characteristics of the presented PLA/MB EMAP solutions for the cherry tomatoes were expressed in terms of the average time when a threshold weight loss was reached, or visible shrinkage was detected and when the first tomato was infected in each bag (Briassoulis et al., 2013). The PLA and PLA/MB based EMAP was shown to retain the targeted RH at the level of 86%, thus preventing a fast loss of water. The non-packed cherry tomatoes exhibited faster loss of water with the appearance of shrinkage related deformations after 2 weeks of storage, associated with 8% to 10% water loss (*Ornella* & *Genio* cherry tomatoes). On the basis of these water loss threshold values, the bio-based EMAP systems, on the average, exhibited an increase of shelf-life time by 10 days (Figure 3). They did not show signs of shrinkage deformation of the cherry tomatoes for a period exceeding one month. The macro-perforated BOPP packaging systems resulted in water loss rates comparable or slightly lower than those of bio-based EMAP systems but the packed cherry tomatoes exhibited signs of shrinkage deformation, especially near the macro-perforations, after approximately 16 or 21 days of storage (*Ornella* and *Genio* cherry tomatoes). In general it was shown that the key factor for the commercial deterioration of the cherry tomatoes in a time-frame of one month is the weight loss rather than the fungal decay.

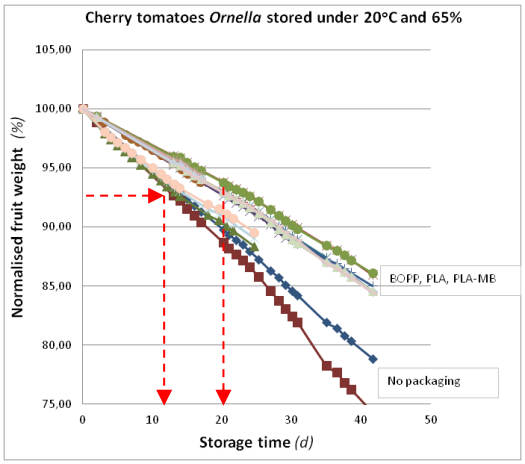


Figure 3. Loss of water by Ornella cherry tomatoes packed in bio-based PLA & PLA/MB EMAP systems, BOPP EMAP systems and non-packed tomatoes, under 20˚C – RH 65%

4. CONCLUSIONS

A novel EMA package was presented in this study using as packaging material a combination of two different biodegradable plastic membranes, namely PLA and Mater-Bi. After the optimization of pure PLA EMA packages for cherry tomatoes the main idea was to further optimize the package in terms of packaging material area reduction leading to cost reduction of the package as well. The increased WV permeability of Mater-Bi, compared to PLA film allowed the design of the minimum possible envelope area EMA packages of 400cm^2 for 250g cherry tomatoes (for the specific variety tested in this study), without affecting the in-package gas mixture targeted conditions that ensure increased shelf life of high quality fresh produce. Packages of combined PLA – Mater-Bi for cherry tomatoes were developed and they were tested through laboratory experiments and numerical simulations. Results from both testing methods were in good agreement and did not exceed the targeted conditions for the optimum EMA package for the cherry tomatoes. Additionally, the reduction of the envelope area and the lower price of the Mater-Bi plastic membrane suggest a cost reduction of at least equal to 20% when compared to a pure PLA EMA package. The optimized PLA/MB EMAP design was found to perform well for at least 1 month. This measured life-time outperforms that of the BOPP EMAP as well as of the unpacked produce, where excessive water loss is observed.

REFERENCES

Journals

Briassoulis, D., Mistriotis, A., Giannoulis A., Giannopoulos, D. (2013). Optimized PLA-based EMAP systems for horticultural produce designed to regulate the targeted in-package atmosphere. Industrial Crops and Products, 48: 68-80.

Chung D., Papadakis S.E. & Yam K.L. 2003. Simple Models for Evaluating Effects of Small Leaks on the Gas Barrier Properties of Food Packages. Packag. Technol. Sci. 16, 77–86

D'Aquino, S., (2011). Private communication, CNR-ISPA, Sassari, Italy.

Datta, R., Tsai, S.P., Bonsignore, P., Moon, S.H., Frank, J.R., 1995. Technological and economic potential of poly(lactic acid) and lactic acid derivatives. FEMS Microbiol. Rev. 16, 221–231.

Massman W.J. 1998. A review of the molecular diffusivities of H2O, CO2, CH4 ,CO, O3, SO2, NH3, N2O, NO, and NO2 in air, O2 and N2 near STP. Atmospheric Environment 32, 1111-1127.

Books

Farber, J.M., Dodds, K.K. (1995). Principles of modified-atmosphere packaging and sous vide product packaging, CRC Press

Versteeg, H.K., Malalasekera, W. 1995. Computational Fluid Dynamics: The Finite Volume Method. Longman Scientific & Technical, Harlow, England.

Conference Papers

Mistriotis, A., Giannoulis, A., Giannopoulos, D., Briassoulis, D., 2011. Analysis of the effect of perforation on the permeability of biodegradable non-barrier films. In: Proceedings 11th International Congress on Engineering and Food (ICEF11). Procedia Food Science 1. Food Process Engineering in a Changing World. Procedia Food Science (ICEF11), pp. 32–38.

Design Codes & Standards

Comite Europeen de Normalisation CEN. CEN EN 13432: 2000/AC, 2005. Packaging – Requirements for Packaging Recoverable Through Composting And Biodegradation-Test Scheme and Evaluation Criteria for the Final Acceptance of Packaging, European Standard, European Committee for Standardization, Brussels, Belgium.

Projects

HortiBioPack http://www.hortibiopack.aua.gr/

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΜΕΝΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ ΣΤΗΝ ΑΝΑΠΝΕΥΣΤΙΚΗ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΣΤΙΣ ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΜΑΖΑΣ ΤΟΜΑΤΑΣ "CHERRY"

Ι. Καρούσος, Δ. Λέντζου, Γ. Ξανθόπουλος, Ε. Αραβαντινός-Καρλάτος και Γρ. Λαμπρινός
Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Α.Φ.Π. & Γ.Μ., Ιερά Οδός 75, Τ.Κ. 11855, Αθήνα, Τηλ. 210 529 4029, Fax. 210 529 4032, e–mail: refrigenergy@aua.gr

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι η μελέτη της φυσιολογικής συμπεριφοράς καρπών τομάτας "cherry" συντηρούμενων ασυσκεύαστων σε δύο θερμοκρασίες (10 °C και 20 °C) και σχετικές υγρασίες (95 έως 49 %) και συσκευασμένων σε τροποποιημένη ατμόσφαιρα. Οι τελικές ατμόσφαιρες που δημιουργήθηκαν μέσα σε κάθε συσκευασία και στις δύο θερμοκρασίες, μετά τη σταθεροποίησή τους, κυμάνθηκαν από 3.0 - 6.0 % για το CO_2 και από 3.0 - 7.0 % για το O_2. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι χαμηλές υγρασίες, παράλληλα με τις αυξημένες απώλειες μάζας, προκαλούν "stress" στους καρπούς, με συνέπεια την αύξηση της αναπνευστικής τους δραστηριότητας. Έτσι, στους 20 °C η μέση αναπνευστική δραστηριότητα στη χαμηλή σχετική υγρασία (RH=49%) ήταν κατά 50% αυξημένη σε σχέση με την αντίστοιχη στη σχετική υγρασία 95%, η οποία ανέρχεται σε 25 mg_{CO_2} kg^{-1} h^{-1} . Η τροποποιημένη ατμόσφαιρα περιόρισε σημαντικά την αναπνευστική δραστηριότητα κατά 20 - 50 % ανάλογα με τη συγκέντρωση του O_2. Οι απώλειες μάζας των συσκευασμένων τοματών και στις δύο θερμοκρασίες συντήρησης ήταν σημαντικά μικρότερες από τις αντίστοιχες των ασυσκεύαστων τοματών, απώλειες σχετιζόμενες πάντοτε σημαντικά με το χρόνο συντήρησης.

Λέξεις κλειδιά: τομάτα Cherry, τροποποιημένη ατμόσφαιρα, απώλεια μάζας, αναπνευστική δραστηριότητα.

THE EFFECT OF STORAGE CONDITIONS AND MODIFIED ATMOSPHERE ON THE RESPIRATORY ACTIVITY AND MASS LOSS OF "CHERRY" TOMATOES

I. Karoussos, D. Lentzou, G. Xanthopoulos, E. Aravantinos-Karlatos & Gr. Lambrinos
Agricultural University of Athens, Dep. of NRM & AE, Iera Odos 75, 11855 Athens
Tel. +30 210 5294029, Fax +30 210 5294032, e-mail: refrigenergy@aua.gr

The aim of this paper is the study of the physiological behavior of "cherry" tomatoes stored in two temperatures (10 °C and 20 °C) either unpackaged in two relative humidity levels (95 % and 55 %), or in modified atmosphere packaging (MAP). The levels of CO_2 and O_2 in the final atmospheres produced inside each package after reaching a steady state, under both temperatures, ranged from 3.0 - 6.0 % and 3.0 - 7.0 %, respectively. The results show that low humidity levels, combined with increased mass loss, can lead to a stress-induced increase in respiratory activity. Consequently, the average respiratory activity in 20 °C and low relative humidity (RH=49 %) was 50 % higher than the 25 mg_{CO2}/kg·h observed in 95 % RH. The modified atmosphere considerably limited the respiratory activity of "cherry" tomato by 20 % to 50 %, depending on the O_2 content. The mass loss in packaged tomatoes was, in both storage temperatures, significantly lower than that in unpackaged tomatoes and is significantly dependent on storage time.

Key words: "cherry" tomatoes, MAP, respiratory activity, mass loss

1. Εισαγωγή

Η τομάτα είναι από τα πιο δημοφιλή λαχανικά και ίσως από τα γεωργικά προϊόντα με την πιο έντονη βελτίωση και παραγωγή νέων υβριδίων. Σήμερα η τομάτα τύπου "cherry" παρουσιάζει αύξηση προτίμησης λόγω του πλουσιότερου αρώματος και της έντονης γεύσης της. Η διαχείριση και η συντήρησή της δεν διαφέρουν πολύ από αυτήν στις μεγαλόκαρπες τομάτες. Η αναπνοή και η παραγωγή αιθυλενίου κατά την ανάπτυξη, ωρίμανση και γήρανση καρπών Cherry τομάτας πάνω στο φυτό παρουσιάζουν ένα παρόμοιο πρότυπο, διαφορετικού όμως μεγέθους, με τις άλλες ποικιλίες (Bug and Bug, 1965).

Κατά την συντήρηση με ψύξη σκοπός είναι η διατήρηση αλλά και η βελτίωση των επιθυμητών χαρακτηριστικών του προϊόντος όπως η μάζα, η υφή, το χρώμα, το άρωμα, η γεύση κ.λπ. για μεγαλύτερο του φυσιολογικού χρονικό διάστημα. Η απώλεια μάζας είναι από τα πιο ουσιαστικά προβλήματα που προκύπτουν κατά την συντήρηση, οφείλεται δε σε φυσιολογικούς και φυσικούς παράγοντες. Η απώλεια μάζας είναι υψηλότερη όσο αυξάνεται η θερμοκρασία συντήρησης και η διάρκεια αποθήκευσης (Javanmardi and Kubota, 2006, Znidarcic and Pozrl, 2006, Cantwell et al. 2009, Znidarcic et al., 2010). Οι φυσιολογικοί παράγοντες απώλειας μάζας, σχετίζονται με την αναπνευστική δραστηριότητα κατά την διάρκεια της συντήρησης. Οι φυσικές απώλειες αφορούν την αφυδάτωσή του καρπού λόγω ελλείμματος πίεσης υδρατμών, μέγεθος που εξαρτάται από την θερμοκρασία και την σχετική υγρασία του θαλάμου. Σε όλα τα στάδια η σχετική υγρασία θα πρέπει να είναι υψηλή 90-95% για μείωση της απώλειας νερού (Ryall and Lipton, 1979).

Με την χρήση τροποποιημένης ατμόσφαιρας σε συγκεκριμένη σύνθεση, το συντηρούμενο προϊόν αναγκάζεται να προσαρμόσει την μεταβολική του δραστηριότητα, δηλαδή να την περιορίσει. Έτσι

επιτυγχάνεται περαιτέρω επιμήκυνση της μετασυλλεκτικής ζωής του προϊόντος.

Για την μεγαλόκαρπη τομάτα έχει μελετηθεί πρόσφατα, η απώλεια μάζας, η μεταβολή του χρώματος και η επίδραση της τροποποιημένης ατμόσφαιρας (Ψυχογιού κ.α., 2009a και 2009b; Σάββας κ.α., 2013; Μουζάκης κ.α., 2013), ενώ για την μικρόκαρπη έχει γίνει περιορισμένη σχετικά έρευνα στα ποιοτικά χαρακτηριστικά (Μακρογιάννη, 2010).

Σκοπός της εργασίας αυτής ήταν η μελέτη της αναπνευστικής δραστηριότητας και της απώλειας μάζας κατά την συντήρηση ασυσκεύαστων τοματινίων ποικιλίας Lobelo σε δύο διαφορετικές θερμοκρασίες και διάφορες υγρασίες, καθώς και συσκευασμένων τοματινίων σε τροποποιημένη ατμόσφαιρα.

2. Υλικά και Μέθοδοι

Τα τοματίνια ποικιλίας Lobelo, που χρησιμοποιήθηκαν στο πείραμα, ανήκαν στο υβρίδιο Iron F1. Οι καρποί συλλέχθηκαν από θερμοκήπιο στην περιοχή του Μαραθώνα Αττικής. Το πείραμα περιελάμβανε δύο διαδοχικές πειραματικές σειρές στις οποίες χρησιμοποιήθηκαν καρποί 4ου σταδίου ωριμότητας "Pink" από το τελευταίο χέρι της ανοιξιάτικης καλλιέργειας (1η σειρά), για δε την επανάληψή του καρποί από το πρώτο χέρι της θερινής καλλιέργειας (2η σειρά). Οι τομάτες μεταφέρθηκαν νωρίς το πρωί στο εργαστήριο για να ακολουθήσει καθαρισμός, διαλογή και διαχωρισμός των δειγμάτων του πειράματος και οι πρώτες μετρήσεις.

Δημιουργήθηκαν ανά θάλαμο, 7 δείγματα των 150 g για τη μελέτη της αναπνευστικής δραστηριότητας σε συνθήκες θαλάμου, 1 δείγμα των 200 g για μελέτη της απώλειας μάζας σε συνθήκες θαλάμου και 2 δείγματα των 200 g για την μελέτη της απώλειας μάζας σε 2 διαφορετικές υγρασιακές συνθήκες, στα οποία μελετήθηκε και η αναπνευστική τους δραστηριότητα. Ακόμα, για την δημιουργία τροποποιημένης ατμόσφαιρας, διαχωρίστηκαν 10 δείγματα ανά ομάδα συσκευασίας και θάλαμο. Στην 1η σειρά χρησιμοποιήθηκαν 4 ομάδες συσκευασιών των 100, 200, 250 και 400 g, ενώ στην 2η σειρά 3 ομάδες των 200, 300 και 400 g. Τα δείγματα τοποθετήθηκαν σε κεσεδάκια και στην συνέχεια στους ανάλογους ψυκτικούς θαλάμους και κελιά σταθερής σχετικής υγρασίας.

Τα τοματίνια συντηρήθηκαν σε δύο θερμοκρασίες στους 10 °C και 20 °C αντίστοιχα. Στα κελιά σταθερής σχετικής υγρασίας, χωρητικότητας 80 L, δημιουργήθηκαν μικροκλίματα σταθερής σχετικής υγρασίας χρησιμοποιώντας υπέρκορα διαλύματα NaOH, $MgCl_26H_2O$ και NaCl, καθώς και απιονισμένο νερό. Για τον έλεγχο και την καταγραφή των συνθηκών συντήρησης χρησιμοποιήθηκαν αισθητήρες/καταγραφείς τριών τύπων Onset Computer Corp., Southern Mass., U.S.A.. Για την καταγραφή θερμοκρασίας και υγρασίας στις συνθήκες θαλάμου χρησιμοποιήθηκαν αισθητήρες/καταγραφείς τύπου U12-011 (εύρος μέτρησης -20 °C – 70 °C και 5 % - 95 % , ακριβείας ±0.35 °C και ±2.5 % για θερμοκρασία και υγρασία αντίστοιχα). Για την καταγραφή της θερμοκρασίας και υγρασίας στα κελιά χαμηλής υγρασίας χρησιμοποιήθηκαν αισθητήρες/καταγραφείς τύπου S-THB-M008 (εύρος μέτρησης -40 °C – 75 °C και 0 % - 100 % , ακριβείας ±0.35 °C και ±2.5 % για θερμοκρασία και υγρασία αντίστοιχα). Τέλος για την καταγραφή στα κελιά υψηλής υγρασίας αισθητήρες τύπου 8H 011 (εύρος μέτρησης -40 °C – 75 °C και 0 % - 100 % , ακριβείας ±0.35 °C και ± 1.5 % για θερμοκρασία και υγρασία αντίστοιχα).

Την ημέρα της παραλαβής, και κάθε ημέρα στη συνέχεια , σε κάθε θάλαμο, μετρήθηκαν οι αναπνοές στα 7 δείγματα σε συνθήκες θαλάμου και στα δύο δείγματα από τα κελιά υγρασίας. Η μέτρηση της απώλειας μάζας γινόταν ανά 2 ημέρες από τις 3 συνθήκες σε κάθε θάλαμο. Την επόμενη μέρα από την έναρξη, συσκευάστηκαν τα δείγματα που προορίζονταν για δημιουργία τροποποιημένης ατμόσφαιρας σε σακουλάκια από φιλμ πολυαιθυλενίου μέσης πυκνότητας (MDPE) και πάχους 50 μm. Οι συσκευασίες είχαν σχεδιασθεί ώστε σε συνδυασμό με τις διαφορετικές ποσότητες καρπών της κάθε ομάδας, να προκύπτει διαφορετική αναλογία μάζας/επιφάνεια σε κάθε ομάδα. Οι διαφορετικές αυτές αναλογίες θα προσέφεραν και ποικιλία τελικών τροποποιημένων ατμοσφαιρών. Η ζύγιση των συσκευασιών με ζυγό ακριβείας Kern PCB-1000-2 (διακριτικής ικανότητας 0.01 g και ακριβείας ±0.02 g) και η μέτρηση της εσώκλειστης ατμόσφαιρας με αναλυτή αερίων CheckMate 9900 (PBI Dansensor Co., Denmark) (εύρος 1 – 100 % για το O_2 και 0-100% για το CO_2, διακριτικής ικανότητας 0.1 %, και ακριβείας ±1 % για το O_2 και ±2 % για το CO_2), γινόταν καθημερινά σε όλες τις συσκευασίες . Μετά τη σταθεροποίηση των εσωτερικών ατμοσφαιρών, οι συσκευασίες τοποθετήθηκαν σε ειδικούς αναπνευστικούς θαλάμους και μετρήθηκε η αναπνευστική δραστηριότητα των συσκευασμένων τοματινίων (Λαμπρινός κ.ά., 2006) .

Οι μετρήσεις αναπνοής έγιναν με την φορητή διάταξη RICKLOS (Λαμπρινός και Μητρόπουλος, 2004; Λαμπρινός κ.ά., 2006; Λαμπρινός Μητρόπουλος, 2006), με κλίμακα μέτρησης του οργάνου 0 - 5,000 ppm CO_2, με διακριτική ικανότητα 25 ppm και ακρίβεια ± 1 % της πλήρους κλίμακας.

Ο υπολογισμός της αναπνοής υπολογίστηκε με τη σχέση:

$$q_R=(\Delta C/\Delta t)*(V/m)x10^{-4}$$

όπου q_R ο ρυθμός αναπνοής σε ml CO_2/h100g προϊόντος, ΔC η μεταβολή της συγκέντρωσης CO_2 σε ppm, V ο όγκος αέρα του κυκλώματος σε ml, m η μάζα του προϊόντος σε g.

Η αδιάστατη απώλεια μάζας υπολογίστηκε από τη σχέση:

$$M.L.=100(m_o-m_t)/m_o$$

όπου m_o η αρχική μάζα και m_t η μάζα κάθε χρονική στιγμή.

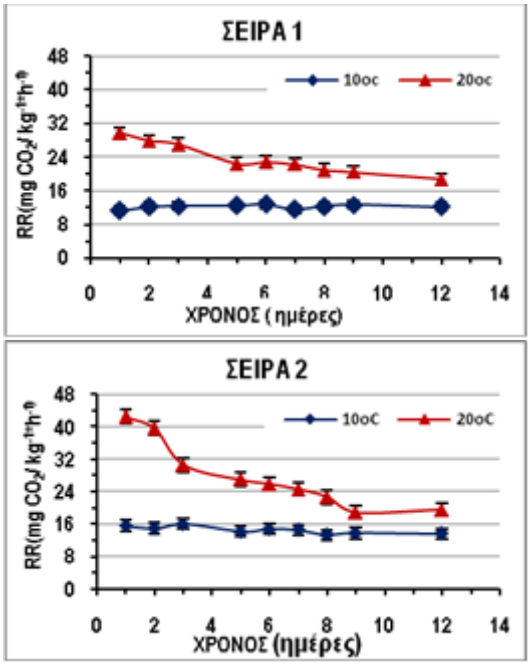
Μετά το τέλος των μετρήσεων έγινε στατιστική ανάλυση των πειραματικών δεδομένων με το

στατιστικό πακέτο Statgraphics Centurion XV.I, για P≤0.05.

3. Αποτελέσματα και σχόλια

3.1 Ρυθμός αναπνοής

Στο Σχήμα 1., παρουσιάζεται ο ρυθμός αναπνοής των τοματινίων σε συνθήκες θαλάμου.



Σχήμα 1. Ρυθμός αναπνοής καρπών τομάτας "cherry", σε συνθήκες θαλάμου, σε δύο θερμοκρασίες συντήρησης για την 1η και 2η σειρά.

Όπως φαίνεται από το Σχήμα 1, ο ρυθμός αναπνοής σε συνθήκες θαλάμου παρουσιάζει πτωτική τάση συναρτήσει του χρόνου συντήρησης στους 20 °C και είναι περίπου σταθερός στους 10 °C. Ο ρυθμός αναπνοής στους 20 °C ήταν σημαντικά πιο έντονος σε σχέση με αυτόν στους 10 °C και στις δύο πειραματικές σειρές. Επίσης, παρατηρήθηκε εντονότερη αναπνευστική δραστηριότητα στους καρπούς της δεύτερης σειράς σε σύγκριση με την πρώτη και στις δύο θερμοκρασίες.

Από την ανάλυση διασποράς (ANOVA), προκύπτει, ότι σε συνθήκες θαλάμου, η θερμοκρασία, ο χρόνος συντήρησης και η πειραματική σειρά, παίζουν σημαντικό ρόλο στην αναπνευστική δραστηριότητα (P=0.000<0.05).

Η αναπνευστική δραστηριότητα των καρπών σε τροποποιημένη ατμόσφαιρα φαίνεται στον Πίνακα 1.

Παρατηρήθηκε αύξηση της αναπνευστικής δραστηριότητας των καρπών με την αύξηση της περιεκτικότητας του O_2 μέσα στην συσκευασία (Σχήμα 2) , δραστηριότητα η οποία πάντα παρέμεινε χαμηλότερη από αυτήν του μάρτυρα.

Η ανάλυση διασποράς (ANOVA), έδειξε ότι η θερμοκρασία, η πειραματική σειρά και η περιεκτικότητα σε O_2 παίζουν σημαντικό ρόλο στην αναπνευστική δραστηριότητα του συσκευασμένου προϊόντος. (P=0.000<0.05).

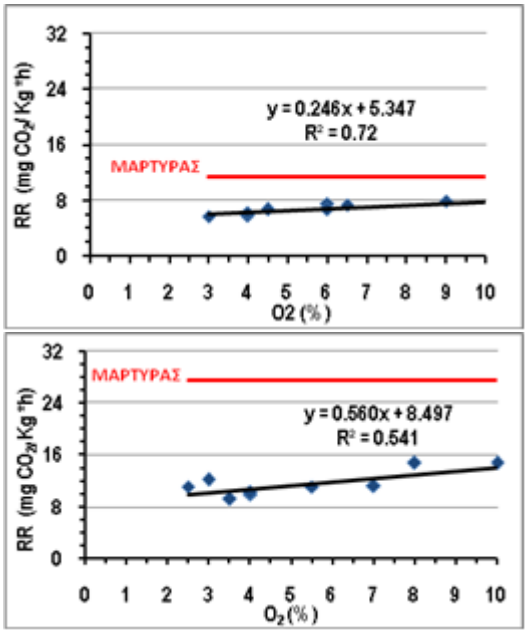
Παρατηρήθηκε ότι οι χαμηλές υγρασίες, παράλληλα με τις αυξημένες απώλειες μάζας, προκαλούν "stress" στους καρπούς, με συνέπεια την επιτάχυνση της αναπνευστικής τους δραστηριότητας. Έτσι, στους 20 °C η αναπνευστική δραστηριότητα στη χαμηλή σχετική υγρασία ήταν κατά 50% αυξημένη σε σχέση με την αντίστοιχη σε σχετική υγρασία 95%, η οποία ανέρχεται κατά μέσο όρο σε 25 mg CO_2/kg h.

Ενδεικτικά στο Σχήμα 3., εμφανίζεται η επίδραση της χαμηλής σχετικής υγρασίας στην αναπνευστική δραστηριότητα ("stress"), καρπών που συντηρήθηκαν στους 20 °C.

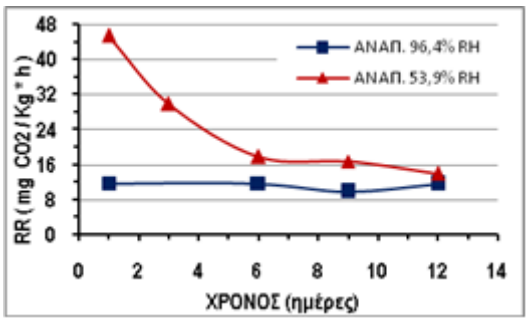
Στον Πίνακα 2, παρουσιάζεται ο ρυθμός αναπνοής των καρπών στις διάφορες συνθήκες συντήρησης.

Πίνακας 1. Αναπνευστική δραστηριότητα των καρπών (σε mg CO_2/ kg h) σε τροποποιημένη ατμόσφαιρα για τις δύο θερμοκρασίες συντήρησης και στις δύο πειραματικές σειρές.

M.A.P.		**Για 3.0% - 6.5% CO_2**	
		3.0% - 5.9% O_2	**6.0% - 9.0% O_2**
1η ΣΕΙΡΑ	10 °C	5.93-7.77	8.31-8.60
	20 °C	11.45	12.76-15.81
2η ΣΕΙΡΑ	10 °C	6.07-6.26	6.75-7.43
	20°C	9.68-10.46	11.24-14.73



Σχήμα 2. Μεταβολή της αναπνευστικής δραστηριότητας των καρπών σε τροποποιημένη ατμόσφαιρα, με την αύξηση της περιεκτικότητας O_2 σε σύγκριση με την χρονικά αντίστοιχη του μάρτυρα στους 10 °C (άνω) και στους 20 °C (κάτω) στη 2η πειραματική σειρά.



Σχήμα 3. Ρυθμοί αναπνοής των καρπών στους 20 °C για δύο σχετικές υγρασίες στη 2η πειραματική σειρά.

Πίνακας 2. Η αναπνευστική δραστηριότητα των καρπών σε κάθε συνθήκη συντήρησης

	Θερμοκρασία °C	Σχ Υγρασία %	*Αναπνευστικός ρυθμός mg CO_2/kg h*
1η σειρά	10	87.0	12.38
		67.0	13.23
	20	76.0	27.11
		70.4	28.51
2η σειρά	10	96.0	14.11
		49.0	15.31
	20	96.4	11.24
		63.7	20.48
		54.0	24.79

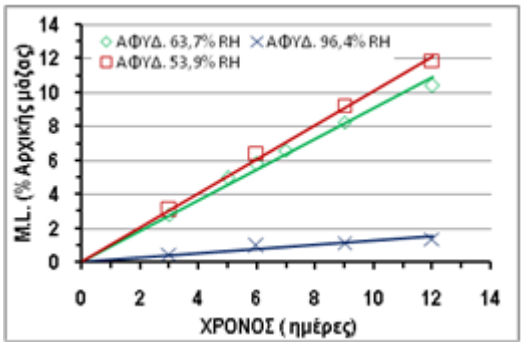
3.2. Απώλεια μάζας

Η απώλεια μάζας που παρατηρήθηκε, εκφράστηκε με τη γραμμική σχέση M.L.=α×t. όπου M.L. η απώλεια μάζας %, t ο χρόνος συντήρησης σε ημέρες και α η κλίση της αντίστοιχης καμπύλης. Αναλυτικά η τιμή της κλίσης α και ο συντελεστής προσδιορισμού R^2 για κάθε συνθήκη συντήρησης παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.

Πίνακας 3. Η τιμή της κλίσης α και ο συντελεστής προσδιορισμού R^2 της σχέσης M.L.=α×t για όλες τις συνθήκες συντήρησης.

		RH (%)	α	R^2
1η σειρά	10 °C	87.0	0.328	0.985
		90.6	0.186	0.980
		67.0	0.589	0.948
	20 °C	70.0	0.491	0.959
		99.5	0.071	0.976
		76.3	0.384	0.974
2η σειρά	10 °C	90.5	0.150	0.995
		96.8	0.026	0,878
		49.3	0.459	0.967
	20 °C	63.7	0.908	0.991
		96.4	0,119	0.926
		53.9	0.849	0.995

Στο Σχήμα 4 παρουσιάζεται η επίδραση του χρόνου συντήρησης και της σχετικής υγρασίας του χώρου αποθήκευσης στην απώλεια μάζας, σε θερμοκρασία 20 °C. Στην επιφάνεια των καρπών που συντηρήθηκαν στις δύο χαμηλές σχετικές υγρασίες, μετά την 8η ημέρα συντήρησης, άρχισαν να παρατηρούνται ρικνώσεις.



Σχήμα 4. Απώλεια μάζας καρπών συντηρούμενων στους 20 °C (2η πειραματική σειρά).

Η ανάλυση διασποράς (ANOVA), έδειξε ότι σημαντική επίδραση στην απώλεια μάζας των καρπών είχαν η θερμοκρασία, η σχετική υγρασία, ο χρόνος συντήρησης αλλά και η πειραματική σειρά, (P-value=0.000<0.05).

4. Συμπεράσματα

Οι τελικές ατμόσφαιρες που δημιουργήθηκαν μέσα σε κάθε συσκευασία και στις δύο θερμοκρασίες, μετά τη σταθεροποίησή τους, κυμάνθηκαν για μεν το CO_2 μεταξύ 3.0 και 6.0%, για δε το O_2 μεταξύ 3.0 και 7.0%. Η τροποποιημένη ατμόσφαιρα περιόρισε σημαντικά την αναπνευστική δραστηριότητα της τομάτας "cherry" κατά 20-50% ανάλογα με τη περιεκτικότητα σε O_2. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η χαμηλή υγρασία, παράλληλα με τις αυξημένες απώλειες μάζας, προκαλούν "stress" στους καρπούς, με συνέπεια την αύξηση της αναπνευστικής τους δραστηριότητας. Οι απώλειες μάζας των συσκευασμένων τοματών και στις δύο θερμοκρασίες συντήρησης ήταν σημαντικά μικρότερες από τις αντίστοιχες απώλειες των ασυσκεύαστων τοματών και συσχετίζονταν σημαντικά με το χρόνο συντήρησης.

Βιβλιογραφία

Burg, S.P. and Burg, E.A.,1965. Gas exchange in fruits, Physiol. Plant, 18, 870-873.

Cantwell, M., Nie, X. and Hong, G., 2009. Impact of Storage Conditions on Grape Tomato Quality. 6th ISHS Postharvest Symposium. Antalya, Turkey. April 8-12.

Javanmardi, J. and Kubota, C., 2006. Variation of lycopene, antioxidant activity, total soluble solids and weight loss of tomato during postharvest storage. Postharvest Biology and Technology 41(2):151-155.

Kader, A.A. 2002. Postharvest Technology of Horticultural Crops. Publication 3311, USA.

Ryall, A.L. and Lipton, W.J., 1979. Handling, transportation and storage of fruits and vegetables. Vol. 1. Vegetables and melons. AVI, Westport CT.

Znidarcic, D. and Pozrl, T., 2006. Comparative study of quality changes in tomato cv. 'Malike' (Lycopersicon esculentum Mill.) whilst stored at different temperatures. Acta Agriculturae Slovenica, 87 - 2, September 2006,. pp. 235-243.

Znidarcic, D., Ban, D., Oplanic, M., Karic L. and Pozrl T., 2010. Influence of postharvest temperatures on physiological quality of tomatoes (Lycopersicon esculentum Mill,), Journal of Food, Agriculture & Environment 8(1): 21-25

Λαμπρινός, Γ. και Μητρόπουλος, Δ., 2004. *Φορητή συσκευή και μέθοδος Μέτρησης του ρυθμού αναπνοής καρπών.* Οργανισμός Βιομηχανικής ιδιοκτησίας (OBI). Δίπλωμα ευρεσιτεχνίας Αριθμ. 1004590/2004.

Λαμπρινός, Γ., Μανωλοπούλου, Ε. και Μητρόπουλος, Δ., 2006. Αναπνευστικός θάλαμος, Φορητή συσκευή και Μέθοδος Μέτρησης του Ρυθμού Αναπνοής Καρπών, ΔΕ αριθ. 1005205/02-05-2006.

Λαμπρινός, Γρ. και Μητρόπουλος, Δ., 2006. Φορητή Συσκευή και Μέθοδος Μέτρησης του ρυθμού Αναπνοής Καρπών που είναι συσκευασμένοι σε τροποποιημένη ατμόσφαιρα. Οργανισμός Βιομηχανικής ιδιοκτησίας (OBI), Αρ. Ευρεσιτεχνίας 1005305/02–07–2006.

Μακρογιάννη, Δ., 2010 Μεταπτυχιακή μελέτη Συγκριτική μελέτη των ποιοτικών χαρακτηριστικών και της μετασυλλεκτικής συμπεριφοράς ένσπερμων και άσπερμων καρπών τομάτας τύπου “cherry”. Τμήμα Ε.Φ.Π., Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών.

Μουζάκης, Π., Σάββας, Μ., Ξανθόπουλος, Γ., Αραβαντινός-Καρλάτος, Ε. και Λαμπρινός, Γρ., 2013. Επίδραση των συνθηκών συντήρησης και της τροποποιημένης ατμόσφαιρας στους ποιοτικούς χαρακτήρες τομάτας ¨Ελπίδα¨, Πρακτικά 8ου Πανελληνίου Συνεδρίου Γεωργικής Μηχανικής Ελλάδας, Βόλος.

Σάββας Μ., Μουζάκης Π., Ξανθόπουλος, Γ., Αραβαντινός-Καρλάτος Ε. και Λαμπρινός Γρ., 2013 Επίδραση των συνθηκών συντήρησης, στους ποιοτικούς χαρακτήρες τομάτας ¨Ελπίδα Πρακτικά 8ου Πανελληνίου Συνεδρίου Γεωργικής Μηχανικής Ελλάδας, Βόλος.

Ψυχογιού Στ., Κατσογιάννη Α., Μανωλοπούλου Ε., Ξανθόπουλος Γ., Χατζής Ε., και Λαμπρινός Γρ., 2009a. Εκτίμηση των απωλειών μάζας νωπής τομάτας βιολογικής καλλιέργειας κατά την συντήρηση της με ψύξη, Πρακτικά 6ου Πανελληνίου Συνεδρίου Γεωργικής Μηχανικής Ελλάδας, Θεσσαλονίκη, σσ. 841-848

Ψυχογιού Στ., Κατσογιάννη Α., Μανωλοπούλου Ε., Ξανθόπουλος Γ., Χατζής Ε., και Λαμπρινός Γρ., 2009b. Μελέτη συντηρησιμότητας τομάτας βιολογικής καλλιέργειας. Πρακτικά 6ου Πανελληνίου Συνεδρίου Γεωργικής Μηχανικής Ελλάδας, Θεσσαλονίκη, σσ. 831-840.

ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΔΥΟ ΜΕΘΟΔΩΝ ΕΚΧΥΛΙΣΗΣ ΤΗΣ ΧΛΩΡΟΦΥΛΛΗΣ. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗΝ ΠΙΠΕΡΙΑ

Ε. Μανωλοπούλου[1], Α. Πετσαλάκη[1]
ΤΕΙ Καλαμάτας, Σχολή Τ.Ε.Γ., Τμήμα Φ.Π, Αντικάλαμος-Καλαμάτα, Τ.Κ.24100
e-mail:arte_lampr@yahoo.gr

Σκοπός της εργασίας ήταν η σύγκριση της κλασσικής μεθόδου του Arnon με τη μέθοδο DMSO στον προσδιορισμό της χλωροφύλλης καρπών πιπεριάς ποικιλίας "California Wonder" που συντηρήθηκαν 25 ημέρες στους 5, 10 και 20 ºC. Από τα αποτελέσματα προέκυψε ότι οι παράγοντες που επέδρασαν στην αποικοδόμηση της χλωροφύλλης ήταν η θερμοκρασία και η διάρκεια συντήρησης καθώς και η αλληλεπίδρασή τους. Η μεταβολή της χλωροφύλλης ήταν γραμμική συνάρτηση της θερμοκρασίας συντήρησης. Από τη στατιστική ανάλυση προέκυψε ότι οι δύο μέθοδοι προσδιορισμού της χλωροφύλλης διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους. Η μέθοδος Arnon σε όλες τις περιπτώσεις έδωσε μικρότερες τιμές από τη μέθοδο DMSO. Τόσο ο χρησιμοποιούμενος διαλύτης όσο και η μέθοδος εξαγωγής της χλωροφύλλης επηρεάζουν σημαντικά τα λαμβανόμενα αποτελέσματα.

Λέξεις κλειδιά : χλωροφύλλη, DMSO, μέθοδος Arnon, πιπεριά.

COMPARATIVE STUDY OF TWO CHLOROPHYLL EXTRACTION METHODS APPLIED ON PEPPERS

E. Manolopoulou, A. Petsalaki
Technological Educational Institute of Kalamata, School of Agricultural Technology, Department of Crop Production, Antikalamos 24100 Kalamata, Greece
e-mail: arte_lampr@yahoo.gr

The aim of this paper is the comparison of the classic Arnon method with the DMSO method regarding the determination of chlorophyll content in California Wonder peppers stored for 25 days at 5, 10 and 20°C. The results suggest that the factors affecting chlorophyll degradation are temperature and storage time, as well as their interaction. There is a linear relationship between changes in chlorophyll content and storage temperature. The statistical analysis indicates that the two chlorophyll extraction methods considerably differ, as the chlorophyll contents obtained through the Arnon method were, in all cases, lower than those obtained through DMSO. It has to be stressed that the results greatly depend on both the selected solvent and the chlorophyll extraction method.

Key words: chlorophyll, DMSO, Arnon method, pepper

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το χρώμα παίζει καθοριστικό ρόλο για την εμπορική αξία των φυτικών οργάνων και μαζί με την υφή προσδιορίζουν τη φρεσκάδα των περισσότερων λαχανικών (Kader, 2002). Η αντίληψη του χρώματος οφείλεται στην ύπαρξη χρωστικών. Τα φρούτα και λαχανικά είναι πλούσια σε χρωστικές και σ' αυτές οφείλεται η προσέλκυση των αγοραστών. Οι φυτικές χρωστικές μπορούν να χωριστούν σε κατηγορίες ανάλογα με τη χημική τους σύσταση. Έτσι διακρίνουμε τη χλωροφύλλη, τα καροτινοειδή, τις ανθοκυάνες, τα φλαβονοειδή κλπ.

Η χλωροφύλλη είναι η χρωστική της φωτοσύνθεσης και βρίσκεται σε όλα τα πράσινα φυτικά μέρη. Στους χλωροπλάστες των ανώτερων φυτών απαντώνται δύο είδη χλωροφυλλών, η χλωροφύλλη a (κυανοπράσινη) και η χλωροφύλλη b (κιτρινοπράσινη), οι οποίες διαφέρουν μεταξύ τους ως προς τον υποκαταστάτη του πυρολικού δακτυλίου ΙΙ. Η αποικοδόμηση της χλωροφύλλης κατά την ωρίμαση, επεξεργασία ή κατά τη γήρανση των φυτικών ιστών έχει σαν αποτέλεσμα τη μεταβολή του χρώματος. Οι παράγοντες που επηρεάζουν την αποικοδόμηση της χλωροφύλλης είναι: το υδατικό stress, το φως η θερμοκρασία, το αιθυλένιο ή ο συνδυασμός αυτών (Heaton and Marangoni, 1996; Yang et al., 2009). Στην περίπτωση της πιπεριάς οι Minguez-Mosquera and Méndoz (1994a, 1994b) αναφέρουν ότι μετά τη συγκομιδή παρατηρήθηκε καροτενογέννεση που επηρεάστηκε από το φως και τη θερμοκρασία. Έτσι οι ώριμοι καρποί είναι πλούσιοι σε καροτινοειδή γεγονός που επηρεάζει το χρώμα Οι Cantwell et al. (1998), αναφέρουν ότι η θερμοκρασία είναι από τους κυριότερους παράγοντες που προσδιορίζουν τη μετασυλλεκτική ποιότητα των πράσινων λαχανικών. Η υψηλή θερμοκρασία συντήρησης επιταχύνει τη φθορά και μειώνει το χρόνο συντήρησης ενώ η χαμηλή αυξάνει την εμπορική ζωή των περισσοτέρων φρέσκων λαχανικών (Cantwell and Kasmire, 2002) καθυστερώντας την αποικοδόμηση της χλωροφύλλης (Pogson and Morris, 1997). Η μείωση της έντασης του πράσινου χρώματος στα λαχανικά συνδέεται με τη γήρανση, τη μείωση της θρεπτικής αξίας και γενικά την ποιότητάς τους (Cantwell and Kasmire, 2002).

Η πιπεριά είναι από τα πιο γνωστά αρτύματα, χρησιμοποιείται δε διεθνώς λόγω της χαρακτηριστικής πικάντικης γεύσης της και του χαρακτηριστικού της αρώματος. Είναι μια πλούσια πηγή βιταμίνης Α και C, αντιοξειδωτικών, ζεαξανθίνης, συστατικών που παίζουν σημαντικό ρόλο στη διατροφή του ανθρώπου (Raffo et al., 2008).

Σκοπός της εργασίας αυτής ήταν η σύγκριση της κλασσικής μεθόδου του Arnon με τη μέθοδο DMSO

στον προσδιορισμό της χλωροφύλλης, καρπών πράσινης πιπεριάς που συντηρήθηκαν στους 0, 10 και 20 °C.

2.ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1 Πρώτη ύλη

Πιπεριές ποικιλίας "California Wonder" κόπηκαν στο στάδιο της εμπορικής ωριμότητας από αγρόκτημα στο Πλατύ Μεσσηνίας. Αμέσως μετά τη συγκομιδή οι καρποί υπέστησαν διαλογή ως προς το μέγεθος και το χρώμα τους και στη συνέχεια χωρίστηκαν σε 3 ομάδες, κάθε μία εκ των οποίων συντηρήθηκε σε διαφορετική θερμοκρασία. Οι συνθήκες συντήρησης των πιπεριών ήταν θερμοκρασία 5, 10 και 20 °C, σχετική υγρασία 90%, και διάρκεια συντήρησης 25 ημέρες.

2.2.Προσδιορισμός χλωροφύλλης

Για τον προσδιορισμό της χλωροφύλλης χρησιμοποιήθηκαν δύο μέθοδοι: η κλασσική μέθοδος του Arnon, (1949) και η μέθοδος του διμεθυλσουλφοξειδίου (DMSO) (Hiscox and Israelstam, 1979; Barnes et al., 1992; Tait and Hik, 2003; Richardson et al., 2002).

2.2.1. Μέθοδος Arnon

Η εξαγωγή της χλωροφύλλης έγινε με μίγμα ακετόνης και νερού σε αναλογία 80%-20% (v/v). 2 g ιστού πιπεριάς πολτοποιήθηκαν με 25 ml διαλύματος 80% ακετόνης με τη βοήθεια ενός εργαστηριακού blender (8010E, MODEL 38BL40) για 2 min. Ακολούθησε διήθηση με ηθμό (MN G15¼ 125 mm), το διήθημα μεταφέρθηκε σε ογκομετρική φιάλη των 100 ml που ήταν καλυμμένη με αλουμινόχαρτο για να αποτραπεί οξείδωση της χλωροφύλλης από το φως και συμπληρώθηκε μέχρι τη χαραγή με διάλυμα 80% ακετόνης. Η απορρόφηση μετρήθηκε αμέσως στα 663 και 645 nm χρησιμοποιώντας φασματοφωτόμετρο (U-2000, HITACHI).

Η συγκέντρωση της χλωροφύλλης (a, b και ολικής) εκφράσθηκε σε mg/g νωπού βάρους δείγματος (mg/g F.W). Ο υπολογισμός της χλωροφύλλης a, χλωροφύλλης b και ολικής χλωροφύλλης έγινε βάσει των παρακάτω εξισώσεων (Arnon, 1949),

χλωρ/λη **a** (mg/g F.W) = (12.7 A_{663} -2.69 A_{645}) x X/1000x n (1)

χλωρ/λη **b** (mg/g F.W) = (22.9 A_{645} – 4.68 A_{663}) x X/1000x n (2)

ολική χλωρ/λη (mg/g F.W) = (20.2 A_{645} + 8.02 A_{663}) x X/1000x n (3)

όπου: A_{645} η τιμή απορρόφησης στα 645 nm, A_{663} η τιμή απορρόφησης στα 663 nm, X ο συνολικός όγκος του διηθήματος, n το βάρος του ιστού.

2.2.2 Μέθοδος DMSO

Η εξαγωγή έγινε με τον διαλύτη DMSO που έχει αμφιφιλικές ιδιότητες (Notman et al., 2006). 1 g ιστού πιπεριάς τεμαχίστηκε σε μικρότερα κομμάτια που τοποθετήθηκαν σε δοκιμαστικούς σωλήνες που περιείχαν 10 ml διαλύτη. Οι δοκιμαστικοί σωλήνες χαλαρά πωματισμένοι επωάστηκαν σε υδατόλουτρο στους 60-65 ºC για 1.0 h. Ο χρόνος αυτός από προκαταρκτικές μελέτες κρίθηκε ικανοποιητικός για τον πλήρη αποχρωματισμό των ιστών. Ακολούθησε ψύξη σε θερμοκρασία δωματίου για 30 min, διήθηση και μέτρηση της απορρόφησης στα μήκη κύματος 665 nm και 648 nm. Ο μηδενισμός του οργάνου (blank) γινόταν με DMSO. Η μέτρηση της απορρόφησης έγινε με φασματοφωτόμετρο Spectrophotometer (U-2000, HITACHI).

Η συγκέντρωση της χλωροφύλλης (a, b και ολικής) εκφράσθηκε σε mg/g νωπού βάρους δείγματος και υπολογίσθηκε από τις παρακάτω εξισώσεις (Barnes et al., 1992),

χλωρ/λη **a** (mg/g F.W) = (14.85 A_{665} -5.14 A_{648}) (1)

χλωρ/λη **b** (mg/g F.W) = (25.48 A_{665} – 7.36 A_{648}) (2)

ολική χλωρ/λη (mg/g F.W) = (7.49 A_{665} + 20.34 A_{648}) (3)

όπου A_{665} η τιμή απορρόφησης στα 665 nm, A_{648} η τιμή απορρόφησης στα 648 nm.

Ο προσδιορισμός της χλωροφύλλης έλαβε χώρα την $0^{η}$, $3^{η}$,$6^{η}$,$10^{η}$,$13^{η}$, $17^{η}$,$20^{η}$ και $25^{η}$ ημέρα σε 6 δείγματα ανά θερμοκρασία.

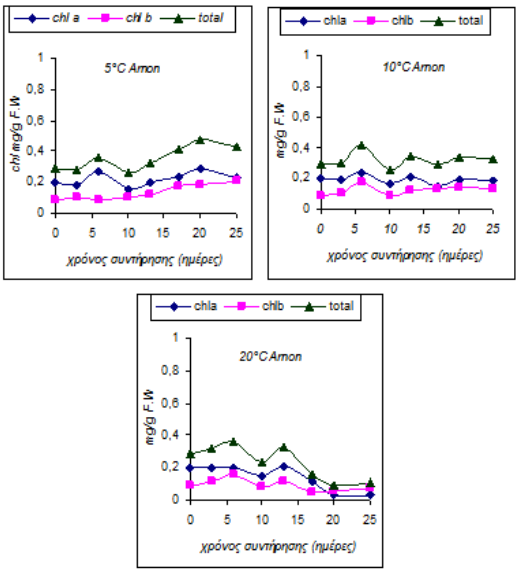
Τα πειραματικά δεδομένα αναλύθηκαν με το στατιστικό πακέτο Statgraphics Plus 5.1 (StatPoint Technologies, Inc., Virginia, USA). Η σύγκριση των μέσων όρων (M.O) έγινε με τη στατιστική δοκιμή Fisher Least Significant Difference σε επίπεδο σημαντικότητας $P \leq 0.05$.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΧΟΛΙΑ

3.1 Προσδιορισμός της χλωροφύλλης με τη μέθοδο Arnon

Η περιεκτικότητα των ιστών της πιπεριάς σε χλωροφύλλη a, b και ολική κατά τη διάρκεια της συντήρησης στους 5, 10 και 20 °C παρουσιάζεται στο Σχήμα 1, από το οποίο προκύπτει ότι στο τέλος της συντήρησης στους 5 °C η ολική χλωροφύλλη παρουσιάζει μία αύξηση της τάξης του 50%, γεγονός που μπορεί να αποδοθεί στην βλάβη που προκαλεί η χαμηλή θερμοκρασία συντήρησης (βλάβη ψύχους) στους ιστούς. Στους 10 °C η ολική χλωροφύλλη παρουσιάζει μικρή μεταβολή (12%) και διατηρείται σχεδόν στα αρχικά επίπεδα μέχρι το τέλος της συντήρησης, ενώ στους 20 °C, μετά τη $15^{η}$ ημέρα, η ολική χλωροφύλλη παρουσιάζει μία μείωση οποία στο τέλος της συντήρησης ($25^{η}$ ημέρα) φθάνει στο 62%. Η χλωροφύλλη a βρίσκεται σε μεγαλύτερα ποσοστά συγκριτικά με τη χλωροφύλλη b. Βάσει της βιβλιογραφίας (Gross, 1991) η χλωροφύλλη a είναι η κυρίαρχος χρωστική και η χλωροφύλλη b είναι συμπληρωματική, η δε αναλογία τους είναι 3:1. Στην παρούσα μελέτη η αναλογία των δύο χλωροφυλλών είναι της τάξης του 2.25/1.0. Αποκλίσεις από την αναλογία 3/1 έχουν παρατηρηθεί και σε άλλους φυτικούς ιστούς, όπως στο φρέσκο σπανάκι όπου η αναλογία είναι 4.02/1.0 (Goodwin, 1965), και στη μπάμια όπου η αναλογία είναι 1.2/1.0 (Gross, 1991). Η αναλογία χλωροφύλλης a προς χλωροφύλλη b ποικίλλει ανάλογα με το είδος του καρπού, την

ποικιλία, τις συνθήκες του περιβάλλοντος (συμπεριλαμβανομένων και των αγρονομικών πρακτικών) καθώς και το στάδιο ανάπτυξης (Gross, 1987). Κατά τη διάρκεια της συντήρησης η αναλογία μεταβάλλεται γιατί η χλωροφύλλη a αποικοδομείται γρηγορότερα από τη χλωροφύλλη b (Goodwin, 1965) γεγονός που συμφωνεί με τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης διότι στο τέλος της συντήρησης η αναλογία χλωροφύλλης a προς χλωροφύλλη b στους 5 °C είναι 1.1/1.0, στους 10 °C 1.3/1.0 και στους 20 °C 0.6/1.0.



Σχήμα 1. Περιεκτικότητα πιπεριάς σε χλωροφύλλη a, b και ολική (προσδιορισμός με τη μέθοδο Arnon), κατά τη συντήρηση στους 5, 10 και 20 °C (N=6).

3.2 Προσδιορισμός της χλωροφύλλης με τη μέθοδο DMSO.

Η περιεκτικότητα της πιπεριάς σε χλωροφύλλη a, b και ολική κατά τη διάρκεια της συντήρησης στους 5, 10 και 20 °C, όπως αυτή προσδιορίστηκε με τη μέθοδο DMSO παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.

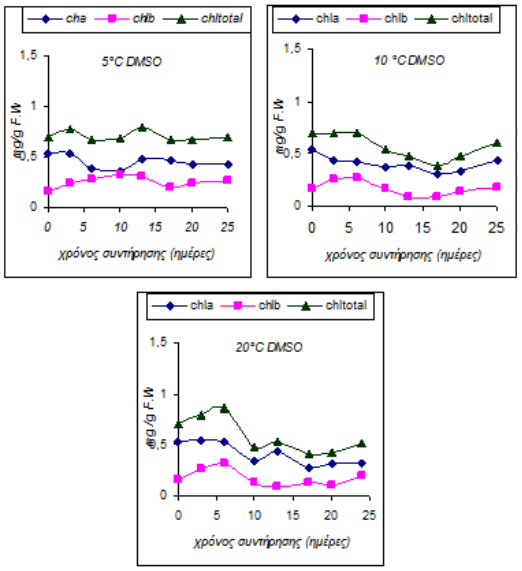
Από το Σχήμα 2 προκύπτει ότι στο τέλος της συντήρησης (25η ημέρα), η ολική χλωροφύλλη παρέμεινε πολύ κοντά στα αρχικά της επίπεδα στους 5 °C και 10 °C (μείωση 0.8% και 13% αντίστοιχα) ενώ στους 20 °C η μείωση ήταν πολύ πιο έντονη και ανήλθε στο 27%.

Η αναλογία της χλωροφύλλης a προς τη χλωροφύλλη b ήταν 3.2/1.0 αναλογία που συμφωνεί με τα βιβλιογραφικά δεδομένα (Gross, 1991) ενώ στο τέλος της συντήρησης, η αναλογία αυτή μεταβλήθηκε και διαμορφώθηκε στο 1.6/1.0 στους 5 °C, 1.1/1.0 στους 10 °C και 1.6/1.0 στους 20 °C.

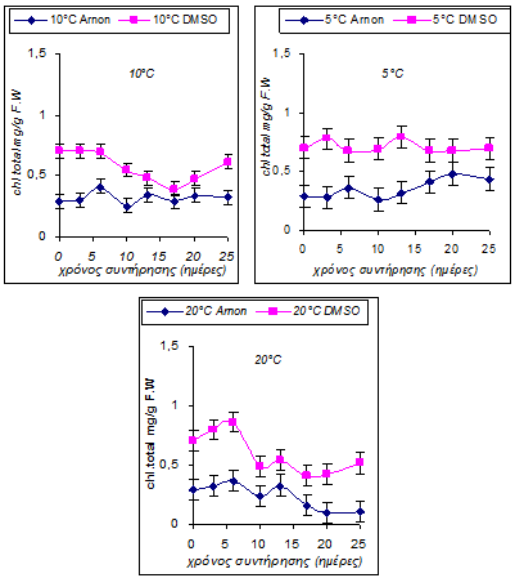
3.3 Σύγκριση των δύο μεθόδων

Για τη σύγκριση των δύο μεθόδων προσδιορισμού της χλωροφύλλης θα παρουσιαστεί η μεταβολή της ολικής χλωροφύλλης ανά θερμοκρασία και μέθοδο (Σχήμα 3).

Από τη στατιστική ανάλυση (ANOVA) προέκυψε ότι υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά (P≤0.05) μεταξύ των δύο μεθόδων προσδιορισμού της χλωροφύλλης. Από το Σχήμα 3 προκύπτει ότι σε όλες τις θερμοκρασίες συντήρησης των καρπών της πιπεριάς ο προσδιορισμός της χλωροφύλλης με τη μέθοδο DMSO παρουσίασε τις υψηλότερες τιμές, ενώ η μέθοδος Arnon έδωσε τις μικρότερες τιμές. Στον Πίνακα 1 παρουσιάζεται η σχέση μεταξύ των μεθόδων προσδιορισμού της χλωροφύλλης τόσο στην αρχή της συντήρησης όσο και στο τέλος της συντήρησης ανά θερμοκρασία.



Σχήμα 2. Περιεκτικότητα πιπεριάς σε χλωροφύλλη a, b και ολική (προσδιορισμός με τη μέθοδο DMSO), κατά τη συντήρηση στους 5, 10 και 20 °C (N=6).



Σχήμα 3. Συγκριτική μελέτη της μεταβολής της ολικής χλωροφύλλης καρπών πιπεριάς που συντηρήθηκαν στους 5, 10 και 20 °C, όπως αυτή προσδιορίσθηκε από τις μεθόδους Arnon και DMSO (N=6).

*Πίνακας 1. Σχέση της **ολικής** χλωροφύλλης μεταξύ των διαφορετικών μεθόδων προσδιορισμού της.*

Μέθοδοι	Αρχή συντήρησης	Τέλος συντήρησης		
		5 °C	10 °C	20 °C
DMSO/Arnon	2.41	1.6	1.9	2.59

Από τον Πίνακα 1 προκύπτει ότι στην αρχή της συντήρησης η χλωροφύλλη που προσδιορίστηκε με τη μέθοδο Arnon ήταν 2.4 φορές μικρότερη από αυτή που προσδιορίσθηκε με τη μέθοδο DMSO. Η σχέση αυτή διατηρήθηκε περίπου σταθερή στο τέλος της συντήρησης στους 20 °C ενώ στο τέλος της συντήρησης στους 5 °C η σχέση αυτή ήταν 1.6 και στους 10 °C 1.9. Η χλωροφύλλη είναι αδιάλυτη στο νερό αλλά διαλυτή σε οργανικούς διαλύτες. Από τα παραπάνω προκύπτει ότι σαφώς υπάρχει σημαντική επίδραση του διαλύτη καθώς και της μεθόδου που χρησιμοποιήθηκε για την εξαγωγή της χλωροφύλλης. Σύμφωνα με τους Leung (1998), Makeen et al. (2007), το σπάσιμο των ιστών, η διήθηση και η χρήση μεγάλων ποσοτήτων διαλύτου (μέθοδος Arnon) έχει σαν αποτέλεσμα τη μικρή απόδοση σε χρωστική συγκριτικά με άλλες μεθόδους, στην προκειμένη περίπτωση με τη χρήση διαλύτη DMSO.

Η μέθοδος του Arnon χρησιμοποιείται ευρέως από πολλούς ερευνητές παρά το γεγονός ότι έχει κάποια σφάλματα και το μίγμα των διαλυτών που χρησιμοποιεί παρουσιάζει μειονεκτήματα (Wellburn, 1994). Το κύριο πρόβλημα της είναι ότι το μίγμα της ακετόνης και του νερού (80% v/v) μπορεί να ευθύνεται για τη μη πλήρη εξαγωγή της χλωροφύλλης, καθώς και το γεγονός ότι δεν μπορούμε να προσδιορίσουμε την ποσότητα της ακετόνης που εξατμίζεται κατά το σπάσιμο των ιστών, τη φυγοκέντριση, τη διήθηση και τη μέτρηση με το φασματοφωτόμετρο. Οι αλλαγές της συγκέντρωσης της ακετόνης με το νερό είναι σημαντικός παράγων λάθους διότι ο ειδικός συντελεστής απορρόφησης της χλωροφύλλης a και b μεταβάλλεται ανάλογα με την περιεκτικότητα της ακετόνης (π.χ αυτός της 79% είναι ελαφρώς διαφορετικός από αυτόν του 80%) (Wellburn, 1994). Η χρήση εναλλακτικών διαλυτών για το φασματοφωτομερικό προσδιορισμό των χρωστικών έχει ζητηθεί για διάφορους λόγους όπως για τον ακριβή προσδιορισμό των συντελεστών των εξισώσεων υπολογισμού, για τη διαφορετική συμπεριφορά των διάφορων τύπων φυτικών ιστών στα διάφορα εκχυλιστικά μέσα. Έτσι υπάρχουν εκχυλιστικά μέσα (π.χ 80% ακετόνη) που είναι αναποτελεσματικά, άλλα είναι αποτελεσματικά αλλά χρειάζεται διαβροχή, σπάσιμο του ιστού, διαύγαση, φυγοκέντριση και γενικά μεγάλος χρόνος προετοιμασίας και άλλα απαιτούν μόνο διαβροχή και ανακίνηση για την εξαγωγή των χρωστικών (Wellburn, 1994).

Το DMSO είναι ένας διαλύτης με αμφιφιλικές ιδιότητες (Notman et al., 2006) που έχει χρησιμοποιηθεί επιτυχώς για την εξαγωγή των χλωροφυλλών από φύκη (Burnison, 1980; Shoaf and Lium, 1976), λειχήνες (Barnes et al., 1992; Ronen and Galun, 1984) και φύλλα των ανώτερων φυτών (Hiscox and Israelstam, 1979; Barnes et al., 1992; Tait and Hik, 2003; Richardson et al., 2002). Διεισδύει στις μεμβράνες και μετουσιώνει τις πρωτεΐνες μεταθέτοντας ή αντικαθιστώντας το νερό γύρω από αυτές. Θεωρείται ανώτερο από την ακετόνη για τον προσδιορισμό της χλωροφύλλης στα ανώτερα φυτά (Ronen and Galun, 1984). Η μέθοδος είναι απλή, η εκχύλιση πλήρης και βασίζεται στην εμβάπτιση δίσκων ιστού σε συγκεκριμένη ποσότητα DMSO και επώαση σε θερμοκρασία 60-65 °C. Μετά την επώαση ο διαλύτης αποστραγγίζεται και μετράται η απορρόφηση σε κατάλληλα μήκη κύματος στα οποία απορροφούν οι φωτοσυνθετικές χρωστικές. Πλεονεκτεί σε σχέση με άλλες μεθόδους (μεθανόλη, ακετόνη, αιθανόλη) στο γεγονός ότι η εξαγωγή των χλωροφυλλών είναι εύκολη και γρήγορη καθώς δεν απαιτείται λειοτρίβηση και φυγοκέντρηση ή διήθηση (Devesa et al., 2007). Για το λόγο αυτό είναι κατάλληλη για εφαρμογή ακόμη και σε συνθήκες πεδίου (Tait and Hik, 2003) και επιτρέπει την προετοιμασία και ανάλυση μεγάλου αριθμού δειγμάτων σε μικρό χρονικό διάστημα. Η σταθερότητα της εκχυλιζόμενης χλωροφύλλης από το DMSO κατά την αποθήκευση είναι καλύτερη εκείνης της μεθόδου της ακετόνης (Hiscox and Israelstam, 1979; Barnes et al., 1992). Το μειονέκτημα που εμφανίζει η μέθοδος είναι ότι η εκχύλιση των χρωστικών βασίζεται στη διάχυση του DMSO εντός των φωτοσυνθετικών ιστών, καθώς δεν γίνεται μηχανική διάσπαση των κυττάρων. Επομένως, ο χρόνος επώασης δεν είναι σταθερός αλλά εξαρτάται από τα ιδιαίτερα ανατομικά και μορφολογικά χαρακτηριστικά των ιστών του κάθε φυτικού είδους (Hiscox and Israelstam, 1979; Barnes et al., 1992). Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι τα δείγματα επωάζονται στο DMSO έως ότου αποχρωματιστούν πλήρως οι ιστοί. Σε ορισμένες περιπτώσεις, η πλήρης εκχύλιση της χλωροφύλλης με DMSO απαιτεί πολλές ώρες επώασης (Shinano et al., 1996).

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από όσα αναφέρθηκαν παραπάνω προκύπτει ότι η θερμοκρασία συντήρησης επηρέασε την περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη. Η μέθοδος προσδιορισμού της χρωστικής επηρεάζει πολύ την εξαγομένη ποσότητα. Η μέθοδος DMSO παρουσίασε επαναληψιμότητα, σταθερότητα και ήταν ικανή να εξάγει μεγαλύτερο ποσοστό χλωροφύλλης συγκριτικά με την κλασσική μέθοδο, επί πλέον δε είχε το πλεονέκτημα ότι ήταν γρήγορη και δεν απαιτούσε χρονοβόρες διαδικασίες και μεγάλες ποσότητες διαλύτη.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Arnon, D., 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts polyphenoloxidase in *Beta Vulgaris*. Plant Physiology, 24 (1): 1-15.

Artés, F., Mínguez, M.I., and Hornero, D., 2002. Analysing changes in fruit pigments. In: Colour in Food, Improving quality, McDougall (ed), CRC Press, Boca Raton, Boston, New York Washington, pp. 249-282.

Barnes, JD., Balaguer, L., Manrique, E., Elvira, S., Davison, AW., 1992.A reappraisal of the use of DMSO for the extraction and determination of chlorophylls a and b in lichens and higher plants. Envir. Exp. Bot. 32:85-100.

Burnison, BK., 1980. Modified dimethylsulfoxide (DMSO) extraction for chlorophyll analysis of phytoplankton. Can J. Fish. Aquat. Sci.37:729-732.

Cantwell, .M., and Kasmire, F.R., 2002. *Postharvest handling systems: flower, leafy and stem vegetables*. In: Postharvest Technology of Horticultural crops. (ed. A. Kader), University of California Agr and Natural Resources Pub.3311,pp.423-433.

Cantwell, M., Rovelo, J., Nie, X., and Rubatzky, V., 1998. *Specialty salad greens*:*Postharvest physiology and shelf-life*. Acta Hort., 467:371-377.

Devesa, R., Moldes, A., Diaz-Fierros, F., Barral M.T., 2007. Extraction study of algal pigments in river bed sediments by applying factorial designs. Talanta 72:1546-1551.

Eaks, I.L., 1977. Physiology of degreening-summary and discussion of related topics. Proc. Int. Soc. Citriculture, 1:223-226.

Goodwin, T.W., 1965. Chemistry and Biochemistry of plant pigments. Academic Press ,New York .Gross J ,1987. Chlorophylls. In: Pigments in fruits. Academic Press Inc. London, UK, pp 1-55

Gross, J., 1991. *Pigments in Vegetables, Chlorophylls and Carotenoids*, Van Nostrand Reinhold, New York.

Heaton, W.J., and Marangoni, G.A., 1996. *Chlorophyll degradation in processed foods and senescent plant tissues.* Trends in Food Science and Technology, 7: 8-15.

Hiscox, JD., Israelstam, GF., 1979. A method for the extraction of chlorophyll from leaf tissue without maceration. Can. J. Bot.57:1332-1334.

Kader, A., 2002. *Maturation and maturity index*. Postharvest Technology of Horticultural crops. (ed. A. Kader), University of California Agr and Natural Resources Pub.3311 pp. 55-62.

Leung, A.Y., 1998. Methods and techniques for study of biochemistry of crop plants. J. Amer. Oil Chem. Soc., 50:407-410.

Makeen, K., Babu, G.S., Lavanya, G.R., Abraham, G., 2007. Studies of chlorophyll content by different methods in black gram. Intern. J. Agric. Res. 2(7):651-654.

Minguez-Mosquera, MI., and Hornero-Mendez, D., 1994a. Formation and transformation of pigments during the fruit ripening of *Capsicum annuum* cv. *Bola* and *Agridulce. J. Agric. Food Chem.,* 42: 38–44.

Minguez-Mosquera, MI., and Hornero-Mendez, D., 1994b. Changes in carotenoid esterification during the fruit ripening of *Capsicum annuum* cv. *Bola. J. Agric. Food Chem.,* 42: 640–644.

Notman, R., Noro, M., O;Malley, B., Anwar, J., 2006. Molecular basis for dimethylsulfoxide (DMSO) action on lipid membranes. J. Am. Chem. Soc.128: 13982-13983.

Pogson, B,J., and Morris, S.C., 1997. *Consequences of cool storage of broccoli on physiological and biochemical changes and subsequent senescence at 20°C*. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 122:553-558

Raffo, A., Baimonte, I., & Paoletti, F., 2008. Changes in antioxidants and taste related compounds content during cold storage of fresh–cut red sweet peppers. European Food Research Technology 226(5): 1167–1174.

Richardson, AD., Duigan, SP., Berlyn, GP., 2002. An evaluation of non invasive methods to estimate foliar chlorophyll content. New Phytol.153: 185-194.

Ronen, R., Galun, M., 1984. Pigment extraction from lichens with dimethylsulfoxide (DMSO) and estimation of chlorophyll degradation. Envir. Exp. Bot. 24:239-245.

Shinano, T., Lai, TT., Kawamukai, T., Inoue, MT., Koike, T., Tadano, T., 1996. Dimethylsulfoxide method for the extraction of chlorophylls a and b from the leaves of wheat, field bean, dwarf bamboo and oak. Photosynthetica 32:409-415.

Shoaf, WT., Lium, BW., 1976 Improved extraction of chlorophyll a and b from algae using dimethylsulfoxide. Limnol. Oceanog.21:926-928.

Tait MA, Hik, DS., 2003. Is dimethylsylfoxide a reliable solvent for extracting chlorophyll under field conditions? Photos. Res. 78:87-91.

Wellburn, A.R., 1994. The spectral determination of chlorophylls a and b, as well as total carotenoids, using various solvents with spectophotometers of different resolution. J. Plant Physiol. 144: 307-313.

Yang, X., Zhang, Z., Joyce, D., Huang,X., Xu, L., Pang, X., 2009. Characterization of chlorophyll degradation in banana and plantain during ripening at high temperature. Food Chemistry, 114:383-390.

Αϊβαλάκις, Γ., Καραμπουρνιώτης, Γ. και Φασσέας, Κ. 2003. Σημειώσεις Γενικής Βοτανικής. Αθήνα: Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών.

ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΡΥΘΜΟΥ ΞΗΡΑΝΣΗΣ ΚΑΙ ΤΩΝ ΧΡΩΜΑΤΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΚΑΤΑ ΤΗ ΒΑΘΜΙΔΩΤΗ ΞΗΡΑΝΣΗ ΒΕΡΙΚΟΚΟΥ

Αθανάσιος Αθανασίου[1], Άλκηστης Σέμπου[2], Γεώργιος Ξανθόπουλος[1] και Ανδρέας Γ. Μπουντουβής[2]
[1] Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας, Τμήμα Α.Φ.Π. & Γ.Μ., , Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Ιερά Οδός 75, Βοτανικός, Τ.Κ. 11855, e–mail: xanthopoulos@aua.gr
[2]Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Χημικών Μηχανικών, Ηρώων Πολυτεχνείου 9, 15780, Ζωγράφου, e–mail: boudouvi@chemeng.ntua.gr

Στην εργασία αυτή πραγματοποιήθηκε βαθμιδωτή ξήρανση κομμένων βερίκοκων (var. *Tom Cot*), με θερμό αέρα δύο διαφορετικών προφίλ θερμοκρασίας, για τη μελέτη του ρυθμού ξήρανσης και των χρωματικών μεταβολών. Και στα δύο βαθμιδωτά προφίλ θερμοκρασίας εμφανίστηκαν δύο επιβραδυνόμενες φάσεις ξήρανσης στη σειρά οι οποίες διαφοροποιήθηκαν σημαντικά από την αντίστοιχη στη σταθερή θερμοκρασία ξήρανσης. Μελετήθηκαν, ο δείκτης καστάνωσης (BI), το χρώμα (C*) και η χροιά (h*). Η ανάλυση έδειξε ότι η εφαρμογή του ασκορβικού οξέος ήταν πιο αποτελεσματική ως προς το μάρτυρα στη βαθμιδωτή αύξηση της θερμοκρασίας, με τελικές τιμές για τα δείγματα με ασκορβικό οξύ και το μάρτυρα μειωμένες αντίστοιχα κατά 24.3% και 36.7% για το BI, 38.8% και 45.1% για το C* και 10.6% και 14.7% για το h*. Η μεταβολή των BI, C* και h* προσεγγίστηκε με ένα τροποποιημένο μοντέλο κινητικής 1ης τάξης του οποίου οι παράμετροι υπολογίστηκαν βάσει του αλγόριθμου Levenberg–Marquardt μη-γραμμικής βελτιστοποίησης και σε όλες τις περιπτώσεις το $R^2_{adj} \geq 0.90$ και MRD<5%.

Λέξεις κλειδιά: ξήρανση, βερίκοκο, ρυθμός ξήρανσης, κινητική χρώματος.

STUDY OF THE DRYING RATE AND COLOUR KINETICS DURING STEPWISE DRYING OF APRICOTS

Athanasios Athanasiou[1], Alkistis Sempou[2], George Xanthopoulos[1] και Andreas G. Boudouvis[2]
[1]Laboratory of Farm Machinery, Department of N.R.M. and A.E., Agricultural University of Athens, 75 Iera Odos Str., Botanikos, GR-11855, Greece, e–mail: xanthopoulos@aua.gr
[2]National Technical University of Athens, School of Chemical Engineering, 9 Heroon Polytechniou Str., 15780, Zografou, Greece, e–mail: boudouvi@chemeng.ntua.gr

In this study, the drying rate and the colour kinetics of cut apricots (var. *Tom Cot*) under two different temperature profiles of stepwise drying were examined. Both stepwise temperature profiles showed two falling rate periods in series, which differed significantly from the respective drying period during constant temperature drying. The browning index (BI), chroma (C*) and hue (h*) were examined. The analysis showed that ascorbic acid treatment was more effective during the stepwise temperature increase, where the final values for treated and untreated samples were reduced by 24.3% and 36.7% for BI, 38.8% and 45.1% for C* and 10.6% and 14.7% for h* respectively. The BI, C* and h* change was modelled by a 1st order modified kinetic model. The model parameter values were calculated employing the Levenberg–Marquardt algorithm of non-linear optimization and in all cases was derived $R^2_{adj} \geq 0.90$ and MRD<5%.

Keywords: drying, apricot, drying rate, colour kinetics.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η αυτοματοποίηση της διαδικασίας ξήρανσης μέσω εξελιγμένων συστημάτων ελέγχου δίνει τη δυνατότητα εφαρμογής μεταβαλλόμενων θερμοκρασιών ξήρανσης. Τα προγράμματα αυτά ξήρανσης επιτρέπουν τη βελτιστοποίηση της διαδικασίας σε πραγματικό χρόνο, προς όφελος της τελικής ποιότητας του προϊόντος και της κατανάλωσης ενέργειας, λόγω επίτευξης μικρότερων χρόνων ξήρανσης. Αυτό είναι πολύ σημαντικό, αφού οι ρυθμοί μεταβολής της μη-ενζυματικής καστάνωσης και της βιταμίνης C επηρεάζονται από την υγρασία, τη θερμοκρασία, το pH και τη σύνθεση του προϊόντος. Η μη-ενζυματική καστάνωση εμφανίζει μέγιστη ένταση σε ενεργότητες νερού μεταξύ 0.6 και 0.7 (Rahman, 2008). Για την ελαχιστοποίηση της ποιοτικής υποβάθμισης πρέπει να χρησιμοποιούνται χαμηλές θερμοκρασίες οι οποίες όμως επιμηκύνουν το χρόνο ξήρανσης και συντελούν στην ποιοτική υποβάθμιση. Για αυτό το λόγο, και δεδομένου ότι η απόδοση της ξήρανσης είναι συνάρτηση και των θερμοφυσικών ιδιοτήτων του υπό ξήρανση προϊόντος, καθιστά το πρόβλημα πολυπαραμετρικό και την επίλυσή του δύσκολη.

Οι Kiang and Jon (2006) κατηγοριοποιούν τα συστήματα μεταβλητών θερμοκρασιών ξήρανσης σε συστήματα διακοπτόμενης ξήρανσης με ενδιάμεσους χρόνους παύσης του ρεύματος θερμού αέρα με στόχο την ανακατανομή της υγρασίας μέσα στο προϊόν και σε συστήματα όπου η θερμοκρασιακή μεταβολή ακολουθεί ημιτονοειδή, τετραγωνική κυματοειδή μορφή, βαθμιδωτή αύξηση και βαθμιδωτή μείωση. Οι Chua et al. (2002a), (2002b) και Chou and Chua (2003) πραγματοποίησαν πειράματα ξήρανσης εφαρμόζοντας συστήματα μεταβαλλόμενης θερμοκρασίας ξήρανσης σε τεμαχισμένα προϊόντα, μπανάνα, γκουάβα και πατάτα. Στις περιπτώσεις της βαθμιδωτής μεταβολής της θερμοκρασίας ξήρανσης βρέθηκε ότι η βαθμιδωτή μείωση θερμοκρασίας με θερμοκρασιακό βήμα ΔT=10 °C, χρονικό βήμα τ=60 min και θερμοκρασία έναρξης 35 °C έδωσε τα καλύτερα αποτελέσματα μειώνοντας τη μη-ενζυματική

καστάνωση τουλάχιστον 50% και τους χρόνους ξήρανσης έως και 30%. Οι συγκρίσεις των αποτελεσμάτων αυτών θα πρέπει να γίνονται ως προς τις ίδιες συνθήκες ξήρανσης είτε αυτές αφορούν τον αέρα ξήρανσης (θερμοκρασία και υγρασία του) είτε το ίδιο το προϊόν και την κατάσταση τεμαχισμού του.

Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν η μελέτη δυο διαφορετικών βαθμιδωτών προφίλ θερμοκρασίας, ένα αυξανόμενης (40→55→70 °C) και ένα μειούμενης (70→55→40 °C) ως προς την μεταβολή του ρυθμού ξήρανσης καθώς και την επίδρασή τους στην οπτική υποβάθμιση. Για το σκοπό αυτό μελετήθηκαν ο δείκτης καστάνωσης (BI), το χρώμα (C*) και η χροιά (h*) των υπό ξήρανση δειγμάτων. Τέλος εφαρμόστηκε μια τροποποιημένη εξίσωση κινητικής μηδενικής τάξης για την προτυποποίηση των παραπάνω χρωματικών ιδιοτήτων λαμβάνοντας υπόψη την επίδραση που έχει το ολοκλήρωμα χρόνου-θερμοκρασίας στην μεταβολή αυτών των ιδιοτήτων.

2. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΚΙΝΗΤΙΚΗΣ ΤΟΥ ΧΡΩΜΑΤΟΣ

Ο ρυθμός μεταβολής ενός παράγοντα ποιότητας A μπορεί να εκφραστεί ως $-dA/dt=k(T)[A]^n$, όπου k(T) είναι η θερμοκρασιακά εξαρτώμενη σταθερά του ρυθμού αντίδρασης και n η τάξη της αντίδρασης. Στις περισσότερες περιπτώσεις το k(T) περιγράφεται από μία εξίσωση Arrhenius, $k(T)=k_r\exp\left[-E_a/R\left(T^{-1}-T_r^{-1}\right)\right]$, όπου k_r η σταθερά της εξίσωσης, E_a η ενέργεια ενεργοποίησης (J/mol), R η σταθερά των αερίων (J/mol K), T η απόλυτη θερμοκρασία (K) και T_r η θερμοκρασία αναφοράς (K) η οποία κατά τον Dolan (2003) ισούται με: (i) τη μέση τιμή των θερμοκρασιών που χρησιμοποιήθηκαν, (ii) $T_r^{-1}=m^{-1}\sum_{i=1}^{m}T_i^{-1}$ για ισοθερμοκρασιακές συνθήκες όπου m το πλήθος των ισοθερμοκρασιακών συνθηκών και T_i η θερμοκρασία σε κάθε μια από αυτές και (iii) $T_r^{-1}=t^{-1}\int_0^t T(t)^{-1}dt$ για μη ισοθερμοκρασιακές συνθήκες. Από την ολοκλήρωση του ρυθμού μεταβολής και την αντικατάσταση του k(T) προκύπτουν εξισώσεις για διάφορες τάξεις αντίδρασης των οποίων οι παράμετροι υπολογίζονται με την εφαρμογή μεθόδων μη-γραμμικής βελτιστοποίησης.

$$n=0,\ A-A_o=\pm k(T_r)\,t\exp\left[-\frac{E_a}{R}\left(T^{-1}-T_r^{-1}\right)\right] \quad (1)$$

$$n=1,\ \ln(A)-\ln(A_o)=\pm k(T_r)\,t\exp\left[-\frac{E_a}{R}\left(T^{-1}-T_r^{-1}\right)\right] \quad (2)$$

όπου τα (+) και (-) αναφέρονται στην αύξηση ή μείωση του παράγοντα A. Στην παρούσα μελέτη, η ακρίβεια των Εξ. 1 και 2 βελτιώθηκε εισάγοντας έναν εκθέτη m' στον όρο t. Ως A ελήφθησαν το $BI=100(x-0.31)/0.17$, με $x=\dfrac{a^*+1.75L^*}{5.645L^*+a^*-3.012b^*}$, το $C^*=\left(a^{*}+b^{*}\right)^{1/2}$ και το $h^*=\arctan^{-1}\left(b^*/a^*\right)$ όπου L*, a* και b* οι τριχρωματικές παράμετροι του χρωματικού χώρου L*a*b*CIE 1976. Η εκτίμηση της απόκλισης των προβλεπομένων τιμών από τις αντίστοιχες πειραματικές τιμές έγινε μέσω της μέσης σχετικής απόκλισης, $MRD=n^{-1}\sum_{i=1}^{n}\left|A^i_{pred}-A^i_{exp}\right|/A^i_{exp}$

3. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

3.1. Πρώτη ύλη και πειραματική διαδικασία

Μετά την παραλαβή τους τα βερίκοκα αποθηκεύτηκαν στους 0 °C μέχρι τη ξήρανσή τους. Πραγματοποιήθηκαν 3 πειράματα ξήρανσης, με βαθμιδωτή αύξηση 40→55→70 °C, βαθμιδωτή μείωση 70→55→40 °C και με σταθερή 55 °C θερμοκρασία ξήρανσης. Στα βαθμιδωτά προφίλ, η μεταβολή της θερμοκρασίας λάμβανε χώρα ανά 3 περίπου ώρες. Χρησιμοποιήθηκαν 10 δείγματα χωρίς εμβάπτιση (μάρτυρας) και 10 εμβαπτισμένα σε διάλυμα ασκορβικού οξέος (35 g/L) για 10 min. Τα δείγματα είχαν μέσο αρχικό βάρος 15.8±1.6 g και αρχική περιεχόμενη υγρασία 7.7±1.2 kg_w/kg_{dm} ($kg_{υγρασίας}/kg_{ξηράς\ ουσίας}$). Η ξήρανση των δειγμάτων διαρκούσε 9-10 h περίπου. Η παροχή του αέρα ξήρανσης ήταν 0.7 m/s. Η απόλυτη υγρασία του αέρα ξήρανσης ήταν 2.2±0.06 $g_w/100g_{da}$ ($g_{υγρασίας}/kg_{ξηράς\ ουσίας}$). Ο χρόνος μεταξύ 2 διαδοχικών ζυγίσεων ήταν πάντα 1 h ενώ οι μετρήσεις χρώματος λάμβαναν χώρα κάθε 0.5 h. Με το πέρας των πειραμάτων, τα δείγματα τοποθετούνταν στους 105 °C για 24 h για τον προσδιορισμό της ξηράς τους ουσίας. Η θερμοκρασία και η υγρασία του αέρα ξήρανσης καταγραφόταν με αισθητήρες Hobo 8H (Onset Computer Corp., Massachusetts, USA) οι οποίοι συνδέονταν σε σταθμό αποθήκευσης δεδομένων Hobo Micro Station (Onset Computer Corp., Massachusetts, USA). Οι αισθητήρες ήταν διακριτικής ικανότητας 0.4 °C, 0.5% και ακρίβειας ±0.7 °C, ±3% για θερμοκρασία και υγρασία αντίστοιχα. Η στατιστική ανάλυση έγινε στο στατιστικό πρόγραμμα Statgraphics Centurion XVI (Statpoint Technologies, Virginia, USA) σε επίπεδο σημαντικότητας P≤0.05.

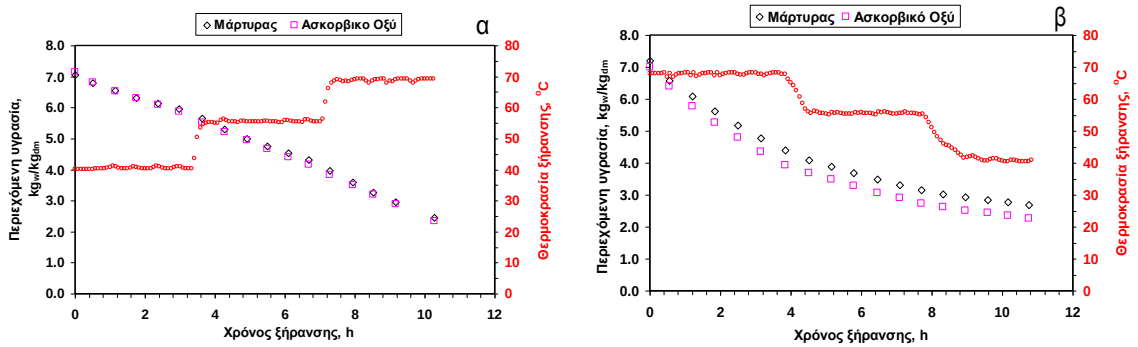
3.2. Εκτίμηση της οπτικής υποβάθμισης κατά την ξήρανση

Από την ανασκόπηση των Pankaj et al. (2011) στη μέτρηση και εκτίμηση των χρωματικών μεταβολών σε φρέσκα και μεταποιημένα αγροτικά προϊόντα διαπιστώνεται ότι η χρήση των χρωματικών παραμέτρων BI, C* h* είναι συχνή. Ο δείκτης καστάνωσης (BI) καθορίζει την καθαρότητα του καστανού χρώματος και είναι ένας από τους πιο συχνά χρησιμοποιούμενους δείκτες καστάνωσης σε προϊόντα που περιέχουν σάκχαρα. Βασίζεται στο σύστημα CIE L*a*b*, ενώ η εκτίμησή του μπορεί να γίνει και φασματοσκοπικά. Στη παρούσα εργασία η μέτρηση του χρώματος γινόταν σε 10 δείγματα βερίκοκων στην εξωτερική επιφάνεια των ημισφαιρίων πάντα σε ένα συγκεκριμένο σημείο και από αυτές εξαγόταν ο μέσος όρος. Οι χρωματομετρήσεις γίνονταν με χρωματόμετρο Minolta CR-300 (Minolta Corp., Tokyo, Japan).

4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΣΧΟΛΙΑ

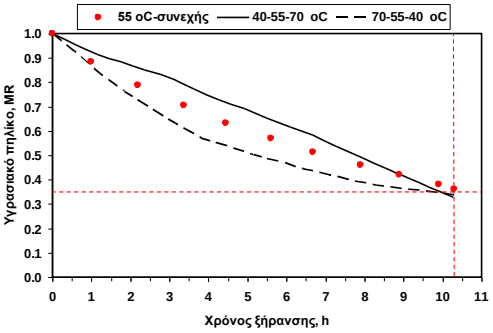
4.1. Μελέτη του χρόνου και του ρυθμού ξήρανσης

Οι πειραματικές καμπύλες ξήρανσης M=f(t) του μάρτυρα και των εμβαπτισμένων σε ασκορβικό οξύ δειγμάτων για χρόνο ξήρανσης 10.3 h (χρόνος αναφοράς) παρουσιάζονται για τη βαθμιδωτή αύξηση 40-55-70 °C (Διάγραμμα 1α) και μείωση 70-55-40 °C (Διάγραμμα 1β) θερμοκρασίας.

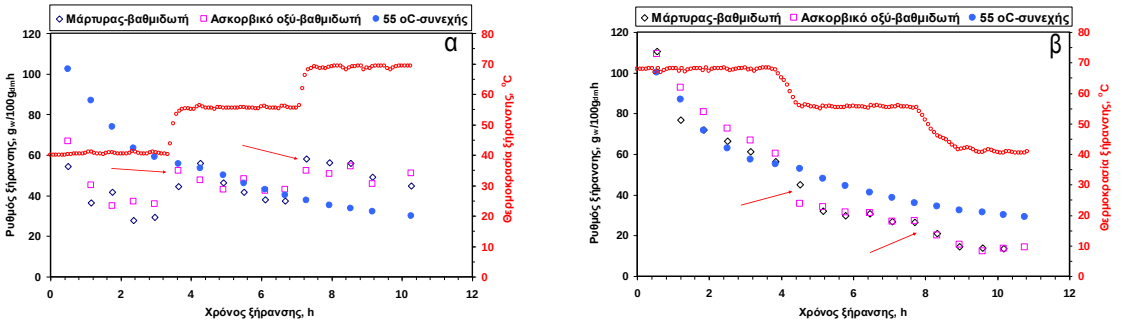


Διάγραμμα 1. Περιεχόμενη υγρασία (kg_w/kg_{dm}) - αριστεροί άξονες. Βαθμιδωτό προφίλ θερμοκρασίας (°C) - δεξιοί άξονες. Κάθε σημείο περιεχόμενης υγρασίας είναι ο μέσος όρος 10 δειγμάτων.

Από τα τρία θερμοκρασιακά προφίλ που συγκρίνονται (βλ. Διάγραμμα 2), φαίνεται να υπάρχει μια μικρή υπεροχή της βαθμιδωτής μείωσης θερμοκρασίας ως προς το χρόνο επίτευξης τελικού υγρασιακού πηλίκου MR=0.35. Η ταχύτητα ξήρανσης θα πρέπει να εξετάζεται σε σχέση με τα επιθυμητά ποιοτικά χαρακτηριστικά (χρώμα στην παρούσα εργασία) του τελικού προϊόντος. Παρόλα αυτά υπό τις ίδιες συνθήκες ξήρανσης οι Chua et al. (2002) παρατήρησαν μεγάλη εξοικονόμηση στο χρόνο ξήρανσης, 180 min για μπανάνα και 60 min για γκουάβα, που υποδεικνύει ότι το θερμοκρασιακό προφίλ που θα πρέπει να επιλέγεται για την επίτευξη δεδομένων MR και άλλων οργανοληπτικών ιδιοτήτων, θα πρέπει να είναι προσαρμοσμένο στις θερμοφυσικές ιδιότητες του προϊόντος με την προϋπόθεση ότι ακολουθούνται συγκεκριμένοι χειρισμοί πριν την ξήρανσή του (διαμερισμός και τοποθέτηση προϊόντος στο ξηραντήριο κτλ) όσο και κατά την ξήρανση του προϊόντος (ρύθμιση συνθηκών ξήρανσης κτλ).



Διάγραμμα 2. Μεταβολή του υγρασιακού πηλίκου (MR) αποξηραινόμενων βερίκοκων.



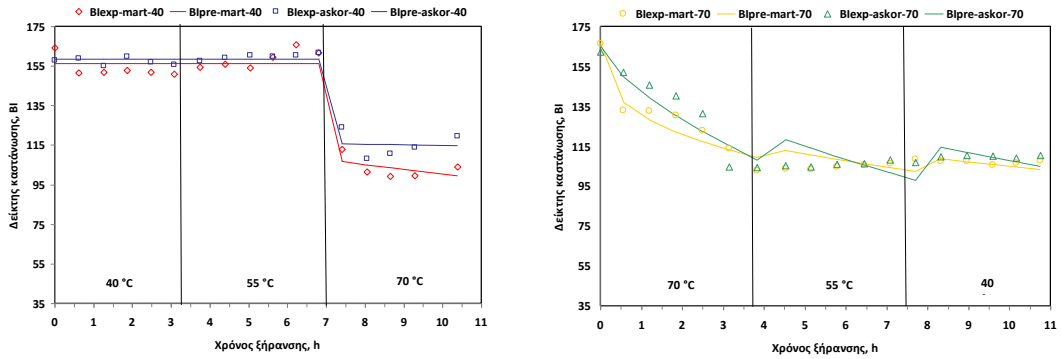
Διάγραμμα 3. Ρυθμός ξήρανσης ($g_w/100g_{dm}$ h) - αριστεροί άξονες και Βαθμιδωτό προφίλ θερμοκρασίας (°C) - δεξιοί άξονες με το χρόνο ξήρανσης (h). Κάθε σημείο περιεχόμενης υγρασίας είναι ο μέσος όρος 10 δειγμάτων.

Η διαφορετική καμπυλότητα των πειραματικών καμπυλών M=f(t), κοίλα προς τα κάτω στη βαθμιδωτή αύξηση της θερμοκρασίας και κοίλα προς τα άνω στη βαθμιδωτή μείωση της θερμοκρασίας, υποδηλώνουν διαφορετικούς ρυθμούς ξήρανσης (dM/dt) οι οποίοι και παρουσιάζονται στα Διάγραμματα 3α και 3β. Παρόμοιες καμπύλες ξήρανσης από αντίστοιχα θερμοκρασιακά προφίλ (βαθμιδωτής αύξησης και μείωσης) παρουσίασαν οι Chua et al. (2002) κατά την ξήρανση μπανάνας και γκουάβα. Ο ρυθμός ξήρανσης ($g_w/100\ g_{dm}h$) ($g_{υγρασίας}/100\ g_{ξηράς\ ουσίας}h$) όπως παρουσιάζεται στα Διάγραμματα 3α και 3β εμφανίζει μια ιδιαιτερότητα στην περίπτωση της βαθμιδωτής αύξησης και μείωσης της θερμοκρασίας σε σχέση με

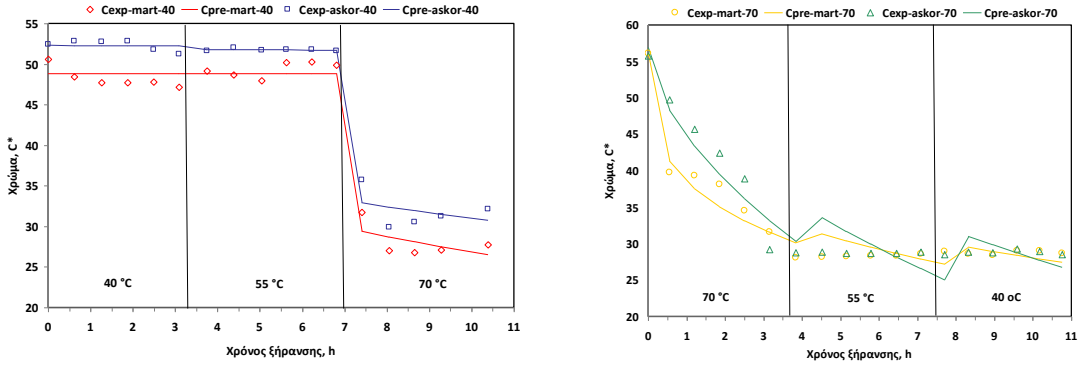
την ομαλή μείωσή του στη σταθερή θερμοκρασία ξήρανσης (55 °C). Και στα δύο βαθμιδωτά θερμοκρασιακά προφίλ εμφανίζονται δύο επιβραδυνόμενες φάσεις ξήρανσης στη σειρά, η έναρξη των οποίων υποδεικνύεται από κόκκινα βέλη στα Διάγραμματα 3α και 3β. Οι απότομες μεταβολές θερμοκρασίας στα βαθμιδωτά προφίλ θερμοκρασιών, έχουν ως συνέπεια την εμφάνιση μεγάλων θερμοκρασιακών κλίσεων μεταξύ της επιφάνειας του προϊόντος και του γεωμετρικού του κέντρου όπως υποστηρίζουν και οι Chua et al. (2002).

4.2. Μελέτη της κινητικής του χρώματος

Η μεταβολή των BI, C* και h* των εμβαπτισμένων και μη δειγμάτων σε ασκορβικό οξύ κατά τη βαθμιδωτή μεταβολή της θερμοκρασίας ξήρανσης παρουσιάζονται στα Διάγραμματα 4-6. Από αυτά φαίνεται ότι για θερμοκρασίες ≤55 °C οι μεταβολές των χρωματικών παραμέτρων είναι αμελητέες ακόμα και μετά από 7 h θερμικής επεξεργασίας. Η οπτική υποβάθμιση γίνεται εμφανής, όταν η θερμοκρασία ξήρανσης ξεπεράσει τους 55 °C στα βαθμιδωτά προφίλ. Οι ποσοστιαίες μεταβολές των χρωματικών παραμέτρων (BI, C*, h*) σε όλα τα δείγματα δίνονται στον Πίνακα 1. Από αυτόν φαίνεται ότι το θερμοκρασιακό προφίλ 40-55-70 °C συνέβαλε σε μικρότερες χρωματικές μεταβολές όπως αυτές εκτιμήθηκαν από τα BI, C* και h*. Επίσης η εμβάπτιση σε ασκορβικό οξύ, φαίνεται να επέδρασε σημαντικά στη μείωση της μεταβολής των BI, C* και h* στην περίπτωση της βαθμιδωτής αύξησης 40-55-70 °C. Αντίστοιχα αποτελέσματα όσον αφορά την αποτελεσματικότητα των δυο θερμοκρασιακών προφίλ κατέγραψαν και οι Chua et al. (2002) οι οποίοι παρατήρησαν ότι η βαθμιδωτή αύξηση θερμοκρασίας ήταν πιο αποτελεσματική στη μείωση της χρωματικής υποβάθμισης, απέδωσαν δε την προηγούμενη αντίδραση, στη βραδεία εξάτμιση υγρασίας από την κορεσμένη επιφάνεια των αποξηραινόμενων προϊόντων η οποία μειώνει τη θερμοκρασία της επιφανείας των αποξηραινόμενων προϊόντων συντελώντας στη μείωση της έντασης και έκτασης της μη-ενζυματικής καστάνωσης. Αντιθέτως η ταχεία απομάκρυνση υγρασίας από την επιφάνεια των αποξηραινόμενων προϊόντων κατά τη βαθμιδωτή μείωση της θερμοκρασίας είχε ως συνέπεια την επιτάχυνση της καστάνωσης όπως και επιβεβαιώνεται από τις μετρήσεις των χρωματικών παραμέτρων (Πίνακας 1).



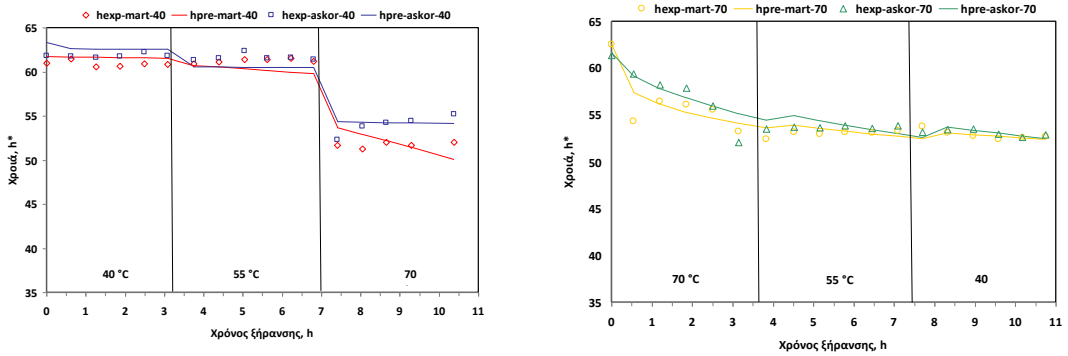
Διάγραμμα 4. Δείκτης καστάνωσης (BI) κατά τη βαθμιδωτή αύξηση (αριστερά) και μείωση (δεξιά) της θερμοκρασίας ξήρανσης. Κάθε πειραματικό σημείο είναι ο μέσος όρος από 10 δείγματα (σημεία: πειραματικές τιμές, συνεχής γραμμή: τιμές από την Εξ. 2).



Διάγραμμα 5. Μεταβολή χρώματος (C) κατά τη βαθμιδωτή αύξηση (αριστερά) και μείωση (δεξιά) της θερμοκρασίας ξήρανσης. Κάθε πειραματικό σημείο είναι ο μέσος όρος από 10 δείγματα (σημεία: πειραματικές τιμές, συνεχής γραμμή: τιμές από την Εξ. 2).*

Στις περισσότερες εργασίες που αναφέρονται στην ανασκόπηση των Pankaj et al. (2011), η μεταβολή των χρωματικών παραμέτρων κατά την ξήρανση με ρεύμα θερμού αέρα υπολογίστηκε με εξισώσεις κινητικής μηδενικής τάξης (n=0) όπως και σε αυτήν την εργασία. Οι παράμετροι της τροποποιημένης εξίσωσης κινητικής μηδενικής τάξεως (n=0), υπολογίστηκαν με τη μέθοδο μη-γραμμικής βελτιστοποίησης Levenberg–Marquardt (Πίνακας 2) ενώ η θερμοκρασία αναφοράς T_r υπολογίστηκε με τη

μέθοδο αριθμητικής ολοκλήρωσης τραπεζίου από το υπολογιστικό πακέτο Matlab 2012b (MathWorks, Massachusetts, USA). Σε γενικές γραμμές η εκτίμηση των χρωματικών παραμέτρων από την τροποποιημένη εξίσωση κινητικής μηδενικής τάξης φαίνεται να είναι ικανοποιητική δίνοντας σε όλες τις περιπτώσεις $R^2_{adj} > 0.90$ και MRD<5%.



Διάγραμμα 6. Μεταβολή χροιάς (h) κατά τη βαθμιδωτή αύξηση (αριστερά) και μείωση (δεξιά) της θερμοκρασίας ξήρανσης. Κάθε πειραματικό σημείο είναι ο μέσος όρος από 10 δείγματα (σημεία: πειραματικές τιμές, συνεχής γραμμή: τιμές από την Εξ. 2).*

Πίνακας 1. Ποσοστιαίες μεταβολές (μειώσεις) των χρωματικών παραμέτρων (BI, C, h*) για τα δύο θερμοκρασιακά προφίλ και τους εξεταζόμενους χειρισμούς.*

Θερμοκρασιακά προφίλ	Χειρισμός	BI	C*	h*
40-55-70 °C	Μάρτυρας	36.7	45.1	14.7
	Ασκορβικό Οξύ	24.3	38.8	10.6
70-55-40 °C	Μάρτυρας	35.1	48.8	15.8
	Ασκορβικό Οξύ	32.0	48.9	13.9

Πίνακας 2. Τιμές των παραμέτρων της τροποποιημένης εξίσωσης κινητικής (n=0) (Εξ. 2).

	Χειρισμός	Χρωματική παράμετρος	T_r (°C)	A_o	$K(T_r)$	m'	E_a (J/mol)	R^2_{adj}	SEE	MRD (%)
40→55→70 °C	Μάρτυρας	BI*	54.4	156.25	1.3×10^{-5}	0.40	632,543	0.952	5.55	3.15
	Ασκορβικό	BI*		158.59	8.0×10^{-5}	0.05	576,161	0.962	4.04	2.06
	Μάρτυρας	C*		48.82	1.1×10^{-5}	0.41	597,053	0.978	1.45	2.92
	Ασκορβικό	C*		52.33	0.08	0.31	216,142	0.983	1.23	1.95
	Μάρτυρας	h*		62.32	0.89	0.20	87,768	0.927	1.19	1.69
	Ασκορβικό	h*		62.84	0.86	0.16	85,360	0.918	1.06	1.56
70→55→40 °C	Μάρτυρας	BI*	57.7	166.46	30.98	0.34	7,437	0.894	5.38	3.32
	Ασκορβικό	BI*		165.26	15.57	0.68	19,151	0.840	7.57	4.88
	Μάρτυρας	C*		56.10	15.59	0.29	5,989	0.939	1.78	2.31
	Ασκορβικό	C*		56.89	9.09	0.58	14,277	0.904	2.71	3.77
	Μάρτυρας	h*		62.54	5.48	0.29	4,979	0.914	0.73	1.18
	Ασκορβικό	h*		61.62	2.79	0.55	9,875	0.936	0.67	1.09

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η βαθμιδωτή μείωση θερμοκρασίας εμφανίζει μικρή υπεροχή ως προς το χρόνο επίτευξης τελικού υγρασιακού πηλίκου MR=0.35. Η οπτική υποβάθμιση είναι εμφανής για θερμοκρασίες ξήρανσης ≥55 °C. Το θερμοκρασιακό προφίλ 40-55-70 °C συνέβαλε σε μικρότερες χρωματικές μεταβολές των BI, C* και h*, ενώ η εμβάπτιση σε ασκορβικό οξύ επέδρασε σημαντικά στη μείωση της μεταβολής των BI, C* και h*. Η εκτίμηση των χρωματικών παραμέτρων από την τροποποιημένη εξίσωση κινητικής μηδενικής τάξης είναι ικανοποιητική δίνοντας σε όλες τις περιπτώσεις $R^2_{adj} > 0.90$ και MRD<5%.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Chou, S.K. and Chua, K.J., 2003. On the study of the drying behaviour of a heat-sensitive biomaterial undergoing stepwise-varying temperature schemes. Ind Eng Chem Res, 42:4939-4952.

Chua, K.J., Hawlader, M.N.A., Chou, S.K. and Ho, J.C., 2002a. On the study of time-varying temperature drying-effect on drying kinetics and product quality. Dry Tech, 20(8):1559-1577.

Chua, K.J., Mujumdar A.S., Chou S.K., Hawlader, M.N.A., and Ho, J.C., 2002b. Convective drying of banana, guava and potato pieces : Effect of cyclical variations of air temperature on drying kinetics and colour change. Dry Tech, 18(4-5):907-936.

Dolan, K.D. Estimation of kinetic parameters for non-isothermal food processes, 2003. J Food Sci, 68(3):728-741.

Kiang C.S. and Jon C.K., 2006. Heat pump drying systems. In: A.S. Mujumdar (Editor), Handbook of Industrial Drying, 3rd ed., Taylor & Francis Group, LLC., NY, USA, p. 1104-1130.

Pankaj, B.P., Umezuruike, L.O., Fahad, Al-J.Al-S., 2011. Colour Measurement and Analysis in Fresh and Processed Foods: A Review. Food Bioprocess Tech, 6:36-60.

Rahman, M.S., 2008. Post-drying aspects for meat and horticultural products. In: X.D. Chen and A.S. Mujumdar (Editors), Drying Technologies in Food Processing, Blackwell Publishing Ltd., Oxford UK., p. 257.

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΜΕΝΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ ΣΤΑ ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΑΝΘΙΔΙΩΝ ΜΠΡΟΚΟΛΟΥ ΟΡΓΑΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΣΥΜΒΑΤΙΚΗΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΤΑ ΤΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΣΤΟΥΣ 0 °C & 5 °C

Ε. Μανωλοπούλου, Κ. Ρεκούμη, Α. Αλεξόπουλος
ΤΕΙ Καλαμάτας, Σχολή ΤΕ.Γ., Τμήμα Φ.Π, Αντικάλαμος-Καλαμάτα, Τ.Κ.24100

Σκοπός της εργασίας αυτής ήταν η μελέτη της επίδρασης της τροποποιημένης ατμόσφαιρας (MAP) και της θερμοκρασίας συντήρησης στα ποιοτικά χαρακτηριστικά ανθιδίων μπρόκολου οργανικής και συμβατικής καλλιέργειας. Ανθίδια μπρόκολου ποικιλίας "Marathon" που προέρχονταν από οργανική και συμβατική καλλιέργεια συσκευάστηκαν με φύλλο πολυαιθυλενίου χαμηλής πυκνότητας, πάχους 30 μm (LDPE-30).Ο μάρτυρας καλύφθηκε με PVC πάχους 13 μm. Οι συσκευασίες διατηρήθηκαν στους 0 °C και 5 °C για 14 ημέρες. Τα ποιοτικά χαρακτηριστικά που μελετήθηκαν ήταν η απώλεια βάρους, η υφή, το χρώμα, η περιεκτικότητα σε βιταμίνη C και η οπτική ποιότητα. Από τα αποτελέσματα προέκυψε ότι ο τρόπος συσκευασίας και η θερμοκρασία επηρέασαν τους μελετηθέντες παράγοντες. Τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των μπρόκολων των δύο τύπων καλλιέργειας δεν διέφεραν στατιστικά μεταξύ τους.

Λέξεις κλειδιά: μπρόκολο, ελάχιστα επεξεργασμένα, τροποποιημένη ατμόσφαιρα, χρώμα, ποιότητα

THE EFFECT OF MODIFIED ATMOSPHERE PACKAGING ON THE QUALITATIVE CHARACTERISTICS OF ORGANIC AND CONVENTIONAL BROCCOLI FLORETS STORED AT 0°C AND 5°C

E. Manolopoulou, K. Rekoumi, A. Aleksopoulos
Technological Educational Institute of Kalamata, School of Agricultural Technology, Department of Crop Production, Antikalamos 24100 Kalamata, Greece
e-mail: arte_lampr@yahoo.gr, a.alexopoulos@teikal.gr, k.rekoumi@gmail.com

The aim of this paper was the study of the effect of modified atmosphere packaging (MAP) and storage temperature on the qualitative characteristics of organic and conventional broccoli florets. Organic and conventional 'Marathon' broccoli florets were packaged using 30 μm low density polyethylene film (LDPE-30). The broccoli florets serving as control were wrapped using 13 μm PVC. The packages were stored at 0 °C and 5 °C for 14 days. The qualitative characteristics studied were weight loss, texture, color, vitamin C content and overall visual quality. The results suggest that packaging and temperature affected the afore-mentioned factors; additionally, there were no significant statistical differences between the qualitative characteristics of organic and conventional broccoli florets.

Key words: broccoli, fresh-cut, modified atmosphere packaging, color, quality

1. Εισαγωγή

Η ταχεία αύξηση της ζήτησης οργανικών προϊόντων τις τελευταίες δύο δεκαετίες μπορεί να αποδοθεί στην αυξημένη εμπιστοσύνη των καταναλωτών στα οργανικά προϊόντα καθώς και στην ανησυχία τους για περιβαλλοντικές επιπτώσεις και πιθανούς κινδύνους για την υγεία, που μπορούν να προέλθουν από τη συμβατική μέθοδο παραγωγής (Dreezens et al., 2005, Winter and Davis, 2006). Οι καταναλωτές προτιμούν τα οργανικά προϊόντα διότι τα θεωρούν πιο ασφαλή, πιο θρεπτικά και με καλλίτερη γεύση (Yiridoe et al., 2005). Από συγκριτικές μελέτες μεταξύ οργανικών και συμβατικών προϊόντων προέκυψε ότι δεν μπορεί να γενικευθεί η αντίληψη ότι τα οργανικά προϊόντα υπερέχουν θρεπτικά και οργανοληπτικά από τα αντίστοιχα συμβατικά (ITAB, 2010; Winter and Davis, 2006).

Τα "ελάχιστα επεξεργασμένα" φρούτα και λαχανικά αποτελούν μία σημαντική και συνεχώς αυξανόμενη κατηγορία προϊόντων, η εμπορική επιτυχία των οποίων εξαρτάται από τη δυνατότητα διατήρησης της φρεσκάδας, της διατροφικής αξίας και της ασφάλειας του προϊόντος για ικανό χρονικό διάστημα ώστε να καταστεί εφικτή η κατανάλωσή τους (Gertmenian, 1992). Η εμπορική ζωή των ελάχιστα επεξεργασμένων προϊόντων, συνήθως αυξάνεται με τη συνδυασμένη εφαρμογή χαμηλών θερμοκρασιών και τροποποιημένης ατμόσφαιρας.

Το μπρόκολλο είναι ένα λαχανικό υψηλής θρεπτικής αξίας, γιατί είναι πλούσιο σε βιταμίνες, αντιοξειδωτικά και αντικαρκινογόνες ουσίες (Yuan et al., 2010), είναι όμως πολύ φθαρτό προϊόν με μικρή εμπορική ζωή. Χαμηλή θερμοκρασία και υψηλή σχετική υγρασία είναι παράγοντες απαραίτητοι για τη διατήρηση της ποιότητάς του (Jones et al., 2006).

Σκοπός της εργασίας αυτής ήταν η μελέτη της επίδρασης της τροποποιημένης ατμόσφαιρας και της θερμοκρασίας συντήρησης στα ποιοτικά χαρακτηριστικά ανθιδίων μπρόκολου «οργανικής» και «συμβατικής» καλλιέργειας.

2. Υλικά και Μέθοδοι

Μπρόκολα ποικιλίας "Marathon" οργανικής και συμβατικής καλλιέργειας συγκομίσθηκαν από αγρόκτημα του ΤΕΙ Καλαμάτας. Η συγκομιδή της κεφαλής έγινε στο στάδιο της εμπορικής ωριμότητας και η προετοιμασία έγινε την ίδια ημέρα αφού απομακρύνθηκαν οι ακατάλληλες κεφαλές. Οι τεχνικές προετοιμασίας που χρησιμοποιήθηκαν ήταν οι καλλίτερες ενδεικνυόμενες. Τα ανθίδια που χρησιμοποιήθηκαν είχαν διάμετρο περίπου 4.0±1.0

cm, το κομμένο προϊόν πλύθηκε με νερό βρύσης θερμοκρασίας 5 °C που περιείχε 50 ppm χλωρίου. Ακολούθησε ξέβγαλμα με νερό βρύσης θερμοκρασίας 5 °C και στέγνωμα με απορροφητικό χαρτί για απομάκρυνση της πλεονάζουσας υγρασίας.

Για τη συσκευασία χρησιμοποιήθηκε πλαστικό εύκαμπτο φύλλο πολυαιθυλενίου χαμηλής πυκνότητας πάχους 30 μm (LDPE-30), ο δε μάρτυρας τοποθετήθηκε σε δισκάκια πολυστερίνης διαστάσεων 180×90×30 mm και καλύφθηκε με PVC πάχους 13 μm. Κάθε συσκευασία περιείχε 100±3 g. Η τροποποιημένη ατμόσφαιρα εντός των συσκευασιών δημιουργήθηκε παθητικά. Οι συσκευασίες και ο μάρτυρας συντηρήθηκαν στο σκοτάδι σε δύο διαφορετικές θερμοκρασίες 0 °C και 5 °C και ΣΥ 90%. Η διάρκεια της συντήρησης ήταν 14 ημέρες.

Οι παράμετροι που μελετήθηκαν ήταν η μεταβολή των αερίων (O_2, CO_2) και του αιθυλενίου μέσα στη συσκευασία, η απώλεια βάρους, η μεταβολή της υφής, η μεταβολή του χρώματος, η μεταβολή της βιταμίνης C, ενώ παράλληλα έγινε εκτίμηση της ολικής οπτικής ποιότητας. Οι μετρήσεις έγιναν την 0η, 4η ,7η ,11η και 14η ημέρα σε 6 ξεχωριστά δείγματα ανά θερμοκρασία και χειρισμό, πλην της μεταβολής των αερίων και του βάρους που έγιναν σε 10 δείγματα ανά θερμοκρασία και χειρισμό. Το πείραμα επαναλήφθηκε δύο φορές.

Η ανάλυση των αερίων (O_2-CO_2) στο εσωτερικό των συσκευασιών έγινε με αναλυτή αερίων CheckMate 9000 (PBI Densensor Co., Denmark), ο προσδιορισμός του αιθυλενίου έγινε με χρωματογράφο Perkin-Elmer (AutoSystem XL), εφοδιασμένο με ανιχνευτή FID και κολόνα αλουμίνας, η απώλεια μάζας εκφράσθηκε ως ποσοστό του αρχικού βάρους και προσδιορίσθηκε με ζυγό ακριβείας (±0.01 g), η υφή μετρήθηκε με επιτραπέζιο αναλυτή υφής Texture Analyser TA-XT2i (SMS, England) εφοδιασμένο με κελί Krammer 5 λεπίδων και το χρώμα προσδιορίσθηκε με χρωματόμετρο Minolta (Model CR-300, Minolta Co Ltd, Osaka) στο σύστημα CIE L*a*b*. Στην αρχή κάθε μέτρησης το όργανο ρυθμιζόταν με τη λευκή πλάκα βαθμονόμησης που συνοδεύει το όργανο. Ο προσδιορισμός της βιταμίνης C έγινε ογκομετρικά με δείκτη 2-6 διχλωρο-φαινολ-ινδοφαινόλη, η δε εκτίμηση της ολικής οπτικής ποιότητας έγινε από μία ομάδα 6 εκπαιδευμένων κριτών με βάση μία κλίμακα από το 1-5 όπου το 1 αντιστοιχούσε σε φρέσκο προϊόν με σκούρο πράσινο χρώμα, το 3 σε πρασινοκίτρινο προϊόν μόλις εμπορεύσιμο και το 5 σε κίτρινη κεφαλή μη εμπορεύσιμη.

Η στατιστική ανάλυση των δεδομένων έγινε με ανάλυση διασποράς (ANOVA) (Statgraphics Plus 5.1). Η σύγκριση των μέσων όρων έγινε με το στατιστική δοκιμή Fisher των ελαχίστων σημαντικών διαφορών (LSD), σε επίπεδο σημαντικότητας P≤0.05.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

3.1. Σύνθεση των αναπνευστικών αερίων (O_2 - CO_2) και του αιθυλενίου στο εσωτερικό των συσκευασιών

Η συγκέντρωση του O_2 στις συσκευασίες οργανικού και συμβατικού μπρόκολου και στις δύο θερμοκρασίες συντήρησης παρουσίασε απότομη πτώση από τις πρώτες ημέρες. Έτσι την 3η ημέρα η συγκέντρωση του O_2 στους 0 °C ήταν 3.5% στην περίπτωση του οργανικού μπρόκολου και 4.8% στην περίπτωση του συμβατικού. Οι συγκεντρώσεις αυτές διατηρήθηκαν μέχρι το τέλος της συντήρησης (14η ημέρα). Στους 5 °C την 3η ημέρα η συγκέντρωση του O_2 στις συσκευασίες του οργανικού μπρόκολου ήταν 1.2% και 1.5% στην περίπτωση του συμβατικού. Ισορροπία επήλθε την 7η ημέρα, οπότε η συγκέντρωση του O_2 στις συσκευασίες του οργανικού μπρόκολου διαμορφώθηκε στο 2.5% του δε συμβατικού στο 3.1%. Οι συγκεντρώσεις αυτές διατηρήθηκαν μέχρι το τέλος της συντήρησης (14η ημέρα). Οι διαφορές μεταξύ των συσκευασιών των δύο τύπων καλλιέργειας δεν ήταν στατιστικά σημαντικές (P≤0.05).

Όσον αφορά στη συγκέντρωση του CO_2 αυτή παρουσίασε αύξηση από τις πρώτες ημέρες. Έτσι την 3η ημέρα, στους 0 °C ανήλθε σε ένα μέγιστο 7.3% στις συσκευασίες του οργανικού και 6.9% στις συσκευασίες του συμβατικού, στους δε 5 °C οι συγκεντρώσεις ήταν 7.7% και 7.1% αντίστοιχα. Η σταθεροποίηση επήλθε και στις δύο θερμοκρασίες την 7η ημέρα με τελικές τιμές οργανικού-συμβατικού 4.6% - 4.4% στους 0 °C και 5.3% - 5.2% στους 5 °C. Σύμφωνα με τον Saltveit (1997) η ιδανικότερη θερμοκρασία συντήρησης των ανθιδίων του μπρόκολου είναι οι 0 και 5 °C, η δε συνιστώμενη σύνθεση της ατμόσφαιρας και στις δύο αυτές θερμοκρασίες είναι 0.5% O_2 και 10% CO_2. Οι Jones et al. (2006) αναφέρουν ότι η ιδανικότερη σύνθεση της ατμόσφαιρας για τα ανθίδια του μπρόκολου είναι 1-2% O_2 και 5-10% CO_2. Η μεγάλη μείωση της συγκέντρωσης του O_2 μπορεί να οδηγήσει στη δημιουργία δυσάρεστης οσμής στο προϊόν (Lipton and Harris, 1974). Σύμφωνα με τους Jacobsson et al. (2004), για τη διατήρηση των ποιοτικών χαρακτηριστικών του μπρόκολου η συγκέντρωση τόσο του O_2 όσο και του CO_2 θα πρέπει να κυμαίνεται γύρω στο 10%.

Όσον αφορά στην παραγωγή αιθυλενίου λόγω των τομών, από τη στατιστική ανάλυση προέκυψε ότι οι παράγοντες που επηρεάζουν την παραγωγή του είναι η θερμοκρασία, ο χρόνος συντήρησης και η αλληλεπίδρασή τους. Η συγκέντρωση του αιθυλενίου στις συσκευασίες και των δύο τύπων μπρόκολου και στις δύο θερμοκρασίες, παρουσίασε μία συνεχή αύξηση φθάνοντας την 3η ημέρα περίπου στο 1.0 ppm. Η συγκέντρωση αυτή στους 5 °C διατηρήθηκε σε όλες τις περιπτώσεις μέχρι το τέλος της συντήρησης, ενώ στους 0 °C παρατηρήθηκε απότομη μείωση και η συγκέντρωση κυμάνθηκε γύρω στα 0.5 ppm και στις δύο περιπτώσεις. Το αιθυλένιο είναι φυσιολογικά ενεργό ακόμη και σε ίχνη (0.1 ppm) και η επαφή του με το μπρόκολο μπορεί να προκαλέσει έναρξη της γήρανσης. Οι υψηλές συγκεντρώσεις του CO_2 και οι χαμηλές του O_2 στις συσκευασίες, απέτρεψαν μία μεγαλύτερη συγκέντρωση αιθυλενίου και εξουδετέρωσαν τη βιολογική του δράση που θα είχε σα συνέπεια την αποικοδόμηση της

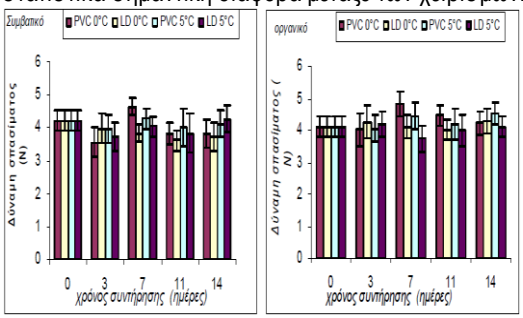
χλωροφύλλης και τη γήρανση των ιστών. Υψηλές συγκεντρώσεις CO_2 είναι γνωστό ότι ανταγωνίζονται τη δράση του αιθυλενίου (Burg and Burg, 1969), ενώ χαμηλές συγκεντρώσεις O_2 αναστέλλουν τη σύνθεση και παρεμποδίζουν τη δράση (Kader et al., 1989).

3.2 Απώλεια βάρους

Από τη στατιστική ανάλυση προέκυψε ότι οι παράγοντες που επηρέασαν την απώλεια βάρους ήταν η θερμοκρασία, ο τύπος της συσκευασίας, ο χρόνος συντήρησης, ο τύπος καλλιέργειας και η αλληλεπίδρασή τους. Στο τέλος της συντήρησης (14η ημέρα) τη μεγαλύτερη απώλεια (1.5%) παρουσίασε ο μάρτυρας του συμβατικού μπρόκολου στους 5 °C. Σε όλες τις περιπτώσεις η απώλεια βάρους ήταν γραμμική συνάρτηση του χρόνου συντήρησης με υψηλό συντελεστή προσδιορισμού R^2 ($0.92<R^2<0.99$). Ένα από τα κύρια προβλήματα κατά τη συντήρηση του μπρόκολου είναι η μεγάλη απώλεια βάρους που επηρεάζει την εμπορικότητά του. Η επίδραση της τροποποιημένης ατμόσφαιρας στη μείωση της απώλειας βάρους οφείλεται κυρίως στη μείωση της διάχυσης των υδρατμών μέσω του πλαστικού συσκευασίας και στη δημιουργία έτσι μιας ατμόσφαιρας κορεσμένης σε υδρατμούς καθώς και στη μείωση της αναπνευστικής δραστηριότητας. Σύμφωνα με τον Forney (1989) το μεγαλύτερο ποσοστό (86-90%) της απώλειας βάρους οφείλεται στην απώλεια υγρασίας και το υπόλοιπο στην αποικοδόμηση οργανικών ουσιών.

3.3. Υφή

Από το Σχήμα 1 προκύπτει ότι η υφή των ανθιδίων του οργανικού και του συμβατικού μπρόκολου σε όλες τις περιπτώσεις διατηρήθηκε πολύ κοντά στα αρχικά επίπεδα και δεν παρουσιάστηκε έως και το τέλος της συντήρησης στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των χειρισμών.

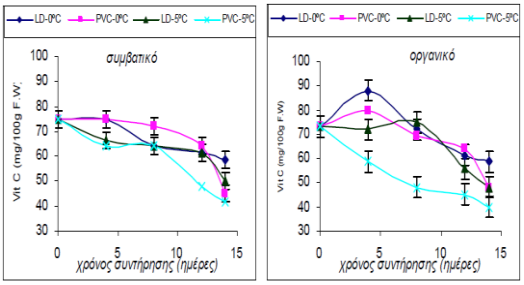


Σχήμα 1. Μεταβολή της υφής ανθιδίων συμβατικού και οργανικού μπρόκολου που συντηρήθηκαν στους 0 °C και 5 °C και συσκευάσθηκαν με LDPE-30 ή PVC. (M.O, N=2 επαν.×6 δείγμ. =12).(error bars=LSD).

Από τη στατιστική ανάλυση προέκυψε ότι κανένας από τους παράγοντες, θερμοκρασία, συσκευασία, τύπος καλλιέργειας, που μελετήθηκαν δεν επηρέασε σημαντικά την υφή των ανθιδίων. Η υφή μαζί με το χρώμα αποτελούν τα βασικά κριτήρια ποιότητας του μπρόκολου. Η υφή επηρεάζεται από την απώλεια υγρασίας (Forney et al., 1989). Σύμφωνα με τους Finger et al. (1999), μεταβολή της υφής του μπρόκολου παρατηρείται όταν η απώλεια υγρασίας ανέρχεται στο 5%. Οι υψηλές συγκεντρώσεις CO_2 και σχετικής υγρασίας στις συσκευασίες συνέβαλλαν στη διατήρηση της υφής. Ανάλογα αποτελέσματα αναφέρουν οι Serrano et al. (2006).

3.4 Μεταβολή της περιεκτικότητας σε βιταμίνη C

Το μπρόκολο είναι μία από τις πλουσιότερες πηγές βιταμίνης C μεταξύ των πράσινων λαχανικών (Watt and Merril., 1975), όμως μετά τη συγκομιδή η απώλεια είναι μεγάλη (Wang, 1979). Η μεταβολή της βιταμίνης C των μπρόκολων συμβατικής και οργανικής καλλιέργειας κατά τη διάρκεια της συντήρησης παρουσιάζεται στο Σχήμα 2. Από τη στατιστική ανάλυση προέκυψε ότι δεν υπήρξε στατιστικά σημαντική διαφορά ($P\leq0.05$) μεταξύ οργανικής και συμβατικής καλλιέργειας μπρόκολου. Οι παράγοντες που επηρέασαν την περιεκτικότητα σε βιταμίνη C ήταν η θερμοκρασία συντήρησης, ο τύπος της συσκευασίας και ο χρόνος συντήρησης. Η αρχική συγκέντρωση βιταμίνης C στην περίπτωση του συμβατικού μπρόκολου ήταν 74.7±7.5 mg/100 g φρέσκου βάρους, ενώ στην περίπτωση του οργανικού ήταν 73.3±9.4 mg/100 g. Οι Nath et al. (2011) αναφέρουν μία συγκέντρωση βιταμίνης C της τάξης του 130 mg/100 g φρέσκου βάρους, αλλά σημαντικό ρόλο παίζει η ποικιλία και οι συνθήκες καλλιέργειας. Κατά τη διάρκεια της συντήρησης παρουσιάστηκε στην περίπτωση του συμβατικού μπρόκολου σε όλους τους χειρισμούς και στις δύο θερμοκρασίες συντήρησης, γραμμική μείωση ($0.8<R^2<0.9$) γεγονός που συμφωνεί με τους Nath et al. (2011), καθώς και στο μάρτυρα στους 5 °C του οργανικού μπρόκολου. Στους υπόλοιπους χειρισμούς του οργανικού μπρόκολου η μεταβολή ήταν πολυωνυμική ($0.92<R^2<0.97$).



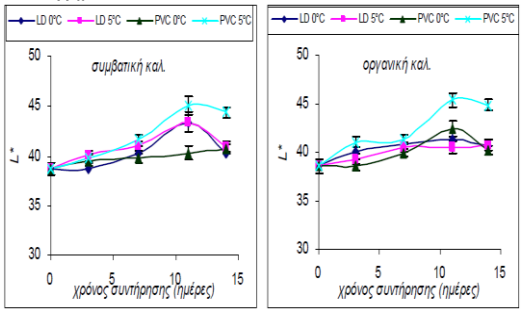
Σχήμα 2. Μεταβολή της βιταμίνης C ανθιδίων συμβατικού και οργανικού μπρόκολου που συντηρήθηκαν στους 0 °C και 5 °C και συσκευάσθηκαν με LDPE-30 ή PVC. (M.O, N=2 επαν.×6 δείγμ =12). (error bars =LSD).

Στο τέλος της συντήρησης (14η ημέρα) στους 0 °C το συσκευασμένο με φύλλο πολυαιθυλενίου συμβατικό και οργανικό μπρόκολο παρουσίασε απώλεια της τάξης του 21% και 20%, αντίστοιχα, ενώ οι μάρτυρες παρουσίασαν απώλεια της τάξης του 39% στην περίπτωση του συμβατικού και 34.5% στην περίπτωση του οργανικού. Στους 5 °C η απώλεια σε βιταμίνη C των συσκευασμένων ανθιδίων του συμβατικού μπρόκολου ήταν 33%, ενώ του οργανικού 34.5%. Οι μάρτυρες παρουσίασαν αντίστοιχα απώλεια της τάξης του 43.7% και 45.5%. Η βιταμίνη C είναι το πιο ευαίσθητο θρεπτικό συστατικό των ανθιδίων του μπρόκολου κατά τους μετασυλλεκτικούς

χειρισμούς για αυτό χρησιμοποιείται και ως κριτήριο ποιότητας (Klein, 1987). Η MAP συντελεί στη διατήρηση της βιταμίνης C. Τα πιθανά αίτια είναι η υψηλή συγκέντρωση CO_2 (Wang, 1979; Paradis et al., 2007), η μειωμένη περιεκτικότητα σε O_2, οπότε οι οξειδώσεις είναι περιορισμένες (Rai et al., 2008) και η διατήρηση υψηλών ποσοστών υγρασίας μέσα στη συσκευασία (Ezell and Wilcox, 1959).

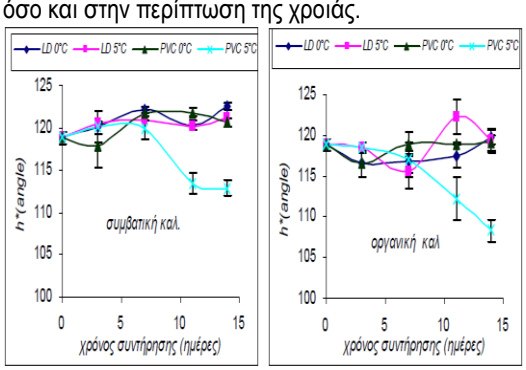
3.5 Μεταβολή του χρώματος

Η μεταβολή του χρώματος αποδόθηκε από τη φωτεινότητα L* και τη χροιά h° και παρουσιάζεται στα Σχήματα 3 και 4.



Σχήμα 3. Μεταβολή της φωτεινότητας L ανθιδίων μπρόκολου συμβατικής και οργανικής καλλιέργειας που συντηρήθηκαν στους 0 και 5 °C και συσκευάσθηκαν με LDPE-30. (MO, N=2 επαν.×6 δείγματα×5 μετρ/δείγμα=60). (error bars =LSD)*

Τόσο στη φωτεινότητα όσο και στη χροιά, μέχρι την 7η ημέρα δεν παρατηρείται στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των χειρισμών (P≤0.05) και στους δύο τύπους μπρόκολου. Μετά την 7η ημέρα τα ανθίδια του μάρτυρα στους 5 °C και στους δύο τύπους καλλιέργειας παρουσίασαν μία αύξηση της φωτεινότητας και μία μείωση της χροιάς. Στο τέλος της συντήρησης (14η ημέρα) δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των άλλων χειρισμών τόσο στην περίπτωση της φωτεινότητας όσο και στην περίπτωση της χροιάς.



Σχήμα 4. Μεταβολή της χροιάς h° ανθιδίων μπρόκολου συμβατικής και οργανικής καλλιέργειας που συντηρήθηκαν στους 0 και 5 °C και συσκευάσθηκαν με LDPE-30. (MO, N=2 επαν.×6 δείγματα×5 μετρ/δείγμα=60). (error bars =LSD)

Από τη στατιστική ανάλυση προέκυψε ότι οι παράγοντες που επηρεάζουν τη φωτεινότητα είναι η θερμοκρασία, ο τύπος της συσκευασίας, ο χρόνος συντήρησης και η αλληλεπίδρασή τους, ενώ οι παράγοντες που επηρεάζουν τη χροιά είναι η θερμοκρασία, ο τύπος της συσκευασίας, ο τύπος της καλλιέργειας και η αλληλεπίδρασή τους. Η αύξηση των τιμών της φωτεινότητας οφείλεται στο κιτρίνισμα των ανθιδίων λόγω της αποικοδόμησης της χλωροφύλλης γεγονός που μειώνει την εμπορική ζωή των ανθιδίων. Το μπρόκολο διατηρεί καλλίτερα το χρώμα του σε χαμηλή θερμοκρασία και σε μία ατμόσφαιρα πτωχή σε O_2 και πλούσια σε CO_2 (Cefola et al., 2010).

3.6 Ολική οπτική ποιότητα

Από τη στατιστική ανάλυση προέκυψε ότι οι παράγοντες που επιδρούν στην ολική οπτική ποιότητα του μπρόκολου είναι η θερμοκρασία συντήρησης, ο τύπος της καλλιέργειας, η συσκευασία, ο χρόνος συντήρησης και η αλληλεπίδραση τους. Στην αρχή της συντήρησης δεν υπήρξε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των δύο τύπων μπρόκολου (συμβατικής και οργανικής καλλιέργειας). Η συσκευασία με LDPE-30 διατήρησε τόσο το συμβατικό όσο και το οργανικό μπρόκολο και στις δύο θερμοκρασίες εμπορεύσιμο μέχρι το τέλος της συντήρησης. Όσον αφορά στους μάρτυρες, στο συμβατικό μπρόκολο ο μάρτυρας στους 0 °C ήταν εμπορεύσιμος μέχρι το τέλος της συντήρησης, ενώ ο μάρτυρας στους 5 °C μέχρι την 7η ημέρα. Στο οργανικό μπρόκολο ο μάρτυρας στους 0 °C ήταν οριακά εμπορεύσιμος την 14η ημέρα, ενώ ο μάρτυρας στους 5 °C ήταν εμπορεύσιμος μέχρι την 7η ημέρα. Τα αποτελέσματα μας συμφωνούν με αυτά άλλων ερευνητών (Jacobsson et al., 2004; Jones et al., 2006, Nath et al., 2011).

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η χρήση πλαστικής συσκευασίας επιμήκυνε την εμπορική ζωή του μπρόκολου και των δύο καλλιεργειών για 14 ημέρες. Η χαμηλότερη θερμοκρασία συντήρησης (0 °C) διατήρησε καλλίτερα τα ποιοτικά χαρακτηριστικά τόσο του συμβατικού όσο και του οργανικού μπρόκολου. Τέλος δεν παρατηρήθηκαν διαφορές ως προς τα μελετηθέντα ποιοτικά χαρακτηριστικά μεταξύ της συμβατικής και βιολογικής καλλιέργειας μπρόκολου.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Burg, S.P., and Burg, EA., 1969. Interaction of ethylene. oxygen and carbon dioxide in the control of fruit ripening. Qual. Plant Mater Veg. 19:185-190.

Cefola, M., Amodio, M.L., Cornacchia, R., Rinaldi, R., Vanadia, S., & Colelli, G., 2010. Effect of atmosphere composition on the quality of ready-to-use broccoli var raab (*Brassica rapa* L.). Journal of the Science of Food and Agriculture, 90:789-797.

Dreezens, E., Martijn, C., Tenbult,P., Kok,G., Vries, N., 2005. Food and values: an examination of values underlying attitudes toward genetically modified- and organically grown food products. Appetite 44:115–22.

Ezell., B.D., and Wilcox, MS., 1959. Loss of vitamin C in fresh vegetables as related to wilting and temperature. J. Agr. Food Chem. 7:567-572.

Finger, F.L., Endres, L., Mosquin, P.R., and Puiatti, M., 1999. Physiological changes during postharvest

senescence of broccoli, Pesq. agropec bras, Brasília, 34(9):1565-1569.

Forney, C.F., & Rij, R.E., Ross, S.R., 1989. Measurement of broccoli respiration rate in film wrapped packages. HortScience, 24:111–113.

Gertmenian, D., 1992. Maximum shelf-life is critical in fresh cut marketing. Produce Business, Oct. 1992, p.76.

Institut Technique de l'Agriculture Biologique, 2010. Mise en place et évaluation d'une méthodologie pour intégrer les aspects sensoriels des légumes dans la sélection pour l'Agriculture Biologique (AB). Projet Européen SOLIBAM 2009/2010.

Jacobsson, A., Nielsen, T., Sjoholm, I., 2004. Influence of temperature, modified atmosphere packaging, and heat treatment on aroma compounds in broccoli. J. Agric. Food Chem. 52: 1607–1614.

Jones, R.B., Faragher, J.D., Winkler, S., 2006. A review of the influence of postharvest treatments on quality and glucosinolate content in broccoli (Brassica oleracea var. Italica) heads. Postharvest Biol. Technol. 41:1–8.

Kader, A.A., Zagory, D., and Kerbel, E., 1989. Modified atmosphere packaging of fruits and vegetables. CRC Crit. Rev. Food Sci. Nutr., 29:1-30.

Klein, B.P., 1987. Nutritional consequences of minimal processing of fruits and vegetables. J. Food Qual., 10:179-183.

Lipton, W.J., & Harris, C.M., 1974. Controlled atmosphere effects on the market quality of stored broccoli. Journal of American Society of Horticultural Science, 99(3):200–205.

Nath, B., Bagchi, L.K., Misra, Bidyut, C., Deka, 2011. Changes in post-harvest phytochemical qualities of broccoli florets during ambient and refrigerated storage. Food Chemistry 127:1510–1514.

Paradis, C., Castaigne, F., Desrosiers, T., Fortin, J., Rodrigue, N., Willemot, C., 2007. Sensory, nutrient and chlorophyll changes in broccoli florets during controlled atmosphere storage, Journal of Food Quality, 19(4):303-316.

Rai, D. R., Tyagi, S. K., Jha, S. N., & Mohan, S., 2008. Qualitative changes in the broccoli (*Brassica oleracea* Italica) under modified atmosphere packaging in perforated polymeric film. Journal of Food Science and Technology, 45(3):247–250.

Saltveit, M.E., 1997. A summary of CA and MA recommendations for harvested vegetables. In: M.E. Saltveit (ed) Vegetables and ornamentals. Postharvest Hort. Series No 18, Univ. Calif.Davis CA, CA'97Proc. 4:98-117.

Serrano, M., Martinez-Romero, Guillen, f., Castillo, S., Valero, D., 2006. Maintenance of broccoli quality and functional properties during cold storage as affected by modified atmosphere packaging. Postharvest Biol. Technol. 39:61-68.

Wang, C.Y., 1979. Effect of short-term high CO_2 treatment on the market quality of stored broccoli. J. Food Sci. 44:1478-1482.

Watt. B.K. and Merrill. A.L., 1975. Composition of food. U.S. Dept.Agr. Agr. Handbook, 8.

Winter, CK., Davis, SF., 2006. Organic foods. Journal of Food Science, 71: R117- R124 .

Yiridoe, EK., Bonti-Ankomah, S., Martin, RC., 2005. Comparison of consumer perceptions and preference toward organic versus conventionally produced foods: A review and update of the literature. Renewable Agriculture and Food Systems, 20:193-205.

Yuan, G., Sun, B., Yuan, J., & Wang, Q., 2010. Effect of 1-methylcyclopropene on shelf life, visual quality, antioxidant enzymes and health-promoting compounds in broccoli florets. Food Chemistry, 118:774–781.

ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΤΩΝ ΣΥΝΟΛΙΚΩΝ ΑΠΩΛΕΙΩΝ ΜΑΖΑΣ ΝΩΠΗΣ ΤΟΜΑΤΑΣ "CHERRY" ΚΑΤΑ ΤΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΤΟΥΣ ΜΕ ΨΥΞΗ

Δ. Λέντζου, Ι. Καρούσος, Ε. Μανωλοπούλου[1] και Γρ. Λαμπρινός
Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Α.Φ.Π. & Γ.Μ., Ιερά Οδός 75, Τ.Κ. 11855, ΑθήναΤηλ. 210 529 4029
Fax. 210 529 4032, e–mail: refrigenergy@aua.gr
[1] Τ.Ε.Ι. Καλαμάτας, Σχολή Τ.Ε.Γ., Τμήμα Φ.Π., Αντικάλαμος–Καλαμάτα, Τ.Κ. 24100,
e–mail: arte_lampr@yahoo.gr

Στόχος της μελέτης αυτής είναι ο ποσοτικός διαχωρισμός των φυσιολογικών και των φυσικών απωλειών μάζας νωπών καρπών τομάτας τύπου "cherry" κατά τη συντήρησή τους. Η ανάλυση και επεξεργασία των δεδομένων απώλειας μάζας των καρπών οδήγησε σε εκθετικής μορφής συσχετίσεις του ρυθμού των ολικών απωλειών μάζας με το έλλειμμα πίεσης υδρατμών του χώρου συντήρησης με υψηλό προσαρμοσμένο συντελεστή προσδιορισμού (R^2_{adj}>0.96), καθώς και του ρυθμού των φυσιολογικών απωλειών μάζας συναρτήσει της θερμοκρασίας (R^2_{adj}=0.99) από τις τομάτες (συσκευασμένες και ασυσκεύαστες) που συντηρήθηκαν σε κορεσμένη υγρασιακά ατμόσφαιρα. Η διαφορά τιμών των δύο αυτών σχέσεων, εκφράζει το ρυθμό αφυδάτωσης λόγω φυσικών μόνο διεργασιών, ο οποίος αποδίδεται μαθηματικά μέσω μιας εκθετικής σχέσης με το έλλειμμα πίεσης υδρατμών (R^2_{adj}=0.87). Από τις σχέσεις φυσικών και φυσιολογικών απωλειών μάζας, είναι δυνατή η πρόβλεψη των ολικών απωλειών μάζας τομάτας τύπου "cherry", γνωρίζοντας τη μέση θερμοκρασία και σχετική υγρασία του χώρου συντήρησης.

Λέξεις κλειδιά: απώλειες μάζας, τομάτα "cherry", συντήρηση με ψύξη

MASS LOSS PREDICTION OF "CHERRY" TOMATO DURING COLD STORAGE

D. Lentzou, J. Karoussos, E. Manolopoulou[1] and Gr. Lambrinos
Agricultural University of Athens, Department of Natural Resources Development & Agricultural Engineering, 75 Iera Odos Str., 118 55, Athens–Greece, Tel. +3 210 5294029 & 4031,
Fax. +3 210 5294032, e–mail: refrigenergy@aua.gr
[1]T.E.I. of Kalamata, Dept. of Crop Science, 24 100, Antikalamos, Kalamata
e–mail: arte_lampr@yahoo.gr

The aim of this work is to study the cold stored "cherry" type tomato in order to evaluate the mass losses due to, firstly, physiological and, secondly, physical phenomena. The produce were stored in different combinations of storage temperatures and relative humidities. The analysis showed that the total mass loss rate of the "cherry" tomatoes varies exponentially with the water vapour pressure deficit (R^2_{adj}=0.960), while the mass loss rate of the tomatoes stored in vapour saturated conditions (physiological losses) also varies exponentially with the storage temperature (R^2_{adj}=0.991). The difference between the values of the previous relationships describes only the physical mass losses, which are also expressed via an exponential relationship (R^2_{adj}=0.866) indicating that the dehydration rate varies according to the water vapour pressure deficit. These two derived expressions of physical and physiological mass losses allow us to predict the overall mass losses during the cold storage of "cherry" tomato, knowing the average temperature and relative humidity of the cold store.

Keywords: mass loss, "cherry" tomato, cold storage

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα νωπά φρούτα και λαχανικά χαρακτηρίζονται από υψηλή περιεκτικότητα σε νερό. Η μείωση της θερμοκρασίας αποσκοπεί στη μείωση της βιολογικής δραστηριότητας, στον περιορισμό των απωλειών μάζας (κυρίως υγρασίας) και τελικά στη διατήρηση της ποιότητας και στην αύξηση του χρόνου συντήρησης (Woods, 1990). Η απώλεια μάζας πέραν κάποιας συγκεκριμένης τιμής, μπορεί να οδηγεί σε εμπορική απαξίωση, γεγονός ιδιαίτερα σημαντικό για νωπά προϊόντα που αφυδατώνονται εύκολα (Gorini *et al*., 1979; Kays, 1991). Έχουν αναπτυχθεί αρκετά μαθηματικά μοντέλα για την περιγραφή και εκτίμηση του φαινομένου της απώλειας μάζας και ειδικότερα της αφυδάτωσης (Sastry *et al.,* 1978; Sastry and Buffington, 1982; Becker and Fricke, 1994; Whitelock *et al*, 1999), με επικρατέστερο μοντέλο αυτό που θεωρεί ότι το νερό εξατμίζεται διαμέσου της επιδερμίδας προς τον περιβάλλοντα αέρα. Τα μοντέλα αυτά ωστόσο, παρουσιάζουν σημαντικά λάθη εκτίμησης σε προϊόντα με έντονο ρυθμό αναπνοής ή σε συνθήκες με χαμηλό έλλειμμα πίεσης υδρατμών καθώς δεν μπορούν να διακρίνουν το φυσιολογικό από το φυσικό φαινόμενο. Τα τελευταία χρόνια διάφορες έρευνες (Van Dijk et al., 2006; Ψυχογιού κ.ά., 2009; Σάββας κ.α., 2013) έδειξαν ότι οι απώλειες μάζας εξαρτώνται από το έλλειμμα πίεσης υδρατμών το οποίο είναι συνάρτηση της θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας, καταλήγοντας στο συμπέρασμα ότι ο ρυθμός αφυδάτωσης λόγω φυσικών μόνο διεργασιών εκφράζεται μέσω μιας εκθετικής σχέσης του ελλείμματος πίεσης υδρατμών, ενώ το φυσιολογικό φαινόμενο μέσω μιας εκθετικής σχέσης της θερμοκρασίας συντήρησης.

Θεωρώντας ότι ο ρόλος των φυσιολογικών φαινομένων (αναπνοή–διαπνοή) είναι πολύ πιο

σημαντικός απ' όσο εκτιμούν τα παλαιότερα μοντέλα ειδικά σε υψηλά επίπεδα υγρασίας, κρίθηκε σκόπιμο στη παρούσα εργασία να μελετηθεί το φαινόμενο σε επιτραπέζια συντηρούμενα τοματίνια, προσπαθώντας να διακριθούν οι φυσιολογικές από τις φυσικές απώλειες και να αναπτυχθούν μαθηματικές σχέσεις πρόβλεψής τους.

2. ΥΛΙΚΑ & ΜΕΘΟΔΟΙ

Σε δύο διαδοχικές πειραματικές σειρές σειρές (4ο χέρι συλλογής της εαρινής καλλιέργειας και 1ο χέρι της θερινής καλλιέργειας στον ίδιο αγρό), χρησιμοποιήθηκαν καρποί επιτραπέζιας μικρόκαρπης τομάτας τύπου "cherry" (υβρίδιο Iron F1), σταδίου ωριμότητας 4, "Pink", οι οποίοι συλλέχθηκαν από τοπικό παραγωγό (Μαραθώνα, Αττική). Οι τομάτες μεταφέρθηκαν στο εργαστήριο όπου μετά τη διαλογή τους τοποθετήθηκαν ανά ομάδες σε ανοικτά πλαστικά κεσεδάκια, σε θαλάμους θερμοκρασιών 10 ºC και 20 ºC και σε κελιά εντός των θαλάμων που εξασφάλιζαν με κορεσμένα διαλύματα αλάτων; σταθερή σχετική υγρασία από 48% έως 99% σε τρία επίπεδα. Η μέτρηση της αναπνοής και η αρχική ζύγιση των καρπών έγινε την επόμενη ημέρα μετά την αποκατάσταση της τελικής θερμοκρασίας κάθε ομάδας. Οι τομάτες που προορίζονταν να συντηρηθούν εντός συσκευασιών (πλαστικό φιλμ πολυαιθυλενίου χαμηλής πυκνότητας πάχους 50 μm), χωρίστηκαν ομοίως σε ομάδες πριν τοποθετηθούν στους αντίστοιχους θαλάμους μαζί με τα υλικά συσκευασίας, προκειμένου να επέλθει θερμική εξισορρόπηση και να αποφευχθεί η εμφάνιση συμπυκνωμάτων κατά και μετά τη συσκευασία τους, η οποία πραγματοποιήθηκε με θερμική συγκόλληση εντός των χώρων συντήρησης, την επομένη ημέρα. Τη συσκευασία ακολούθησε διάτρηση (δύο οπές διαμέτρου 1.0 mm) και ζύγιση ολόκληρων των συσκευασιών εντός των θαλάμων. Η ανάλυση των αερίων (O_2 και CO_2) εντός των συσκευασιών γινόταν καθημερινά με τη βοήθεια αναλυτή οξυγόνου–διοξειδίου του άνθρακα (CHECK MATE 9900 PBI, Dansensor Co., Denmark) προκειμένου να ελέγχεται η καλή οξυγόνωση. Για τη διευκόλυνση της δειγματοληψίας των αναπνευστικών αερίων από τις συσκευασίες, είχε επικολληθεί σε κάθε μια από αυτές ειδικό διάφραγμα (septum).

Οι μετρήσεις της αναπνοής τόσο των ασυσκεύαστων καρπών, όσο και των συσκευασμένων μετά τη σταθεροποίηση της τροποποιημένης ατμόσφαιρας, πραγματοποιήθηκαν με τη φορητή διάταξη RICKLOS (Λαμπρινός και Μητρόπουλος, 2004; Λαμπρινός, κ.α., 2006; Λαμπρινός και Μητρόπουλος, 2006), σε ειδικούς αναπνευστικούς θαλάμους, με διακριτική ικανότητα της συσκευής 25 ppm CO_2 και ακρίβεια ±50 ppm CO_2.

Η μέτρηση της μάζας των καρπών πραγματοποιήθηκε με ηλεκτρονικό ζυγό AND (FA–2000) ακριβείας ±0.02g. Θεωρήθηκε ότι οι απώλειες μάζας των ασυσκεύαστων καρπών τομάτας συνιστούν φυσιολογικές και φυσικές απώλειες, ενώ αυτές των συσκευασμένων καρπών και των καρπών που συντηρούνται στα κελιά κορεσμένης υγρασίας αντιπροσωπεύουν μόνο φυσιολογικές απώλειες εφόσον το έλλειμμα πίεσης υδρατμών σε αυτές τις συνθήκες είναι πρακτικά μηδέν.

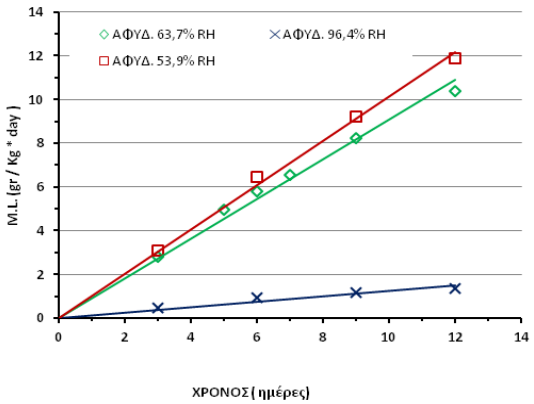
Η καταγραφή της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας όλων των χώρων συντήρησης έγινε με σύστημα καταγραφής Hobo Micro Station, συνδεδεμένο με αισθητήρες Hobo H8 ακριβείας ±0.7 ºC και ±3% θερμοκρασία και σχετική υγρασία αντίστοιχα.

Η στατιστική επεξεργασία των πειραματικών δεδομένων έγινε με το πρόγραμμα Statgraphics Centurion XV.I. Οι μέσες τιμές καθώς και τα αντίστοιχα διαστήματα εμπιστοσύνης, υπολογίστηκαν σε επίπεδο σημαντικότητας $P \leq 0.05$.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ & ΣΧΟΛΙΑ

Η στατιστική σύγκριση των μέσων τιμών της αναπνοής (ασυσκεύαστης τομάτας) των δύο διαδοχικών πειραματικών σειρών οδηγεί στο συμπέρασμα ότι οι δύο σειρές δε διαφέρουν σημαντικά ($P=0.455>0.05$). Από την ανάλυση των αποτελεσμάτων της αναπνοής προκύπτει ομοίως ότι η αναπνευστική δραστηριότητα της συσκευασμένης και της ασυσκεύαστης τομάτας συντηρούμενης εντός κελιών με κορεσμένη σε υγρασία ατμόσφαιρα, δεν διαφέρει σημαντικά ($P=0.541>0.05$).

Οι απώλειες μάζας της ασυσκεύαστης τομάτας συναρτήσει του χρόνου συντήρησης (Σχήμα 1) παρουσιάζουν γραμμική μεταβολή της μορφής, $ML = a \times t$, όπου: *ML* οι απώλειες μάζας (%), *a* η κλίση της ευθείας, και *t* ο χρόνος συντήρησης (d).



Σχήμα 1. Ποσοστό απωλειών μάζας ασυσκεύαστων τοματών της 2ης πειραματικής σειράς συναρτήσει του χρόνου συντήρησης, στους 20 ºC σε τρείς σχετικές υγρασίες.

Δεδομένου ότι το μέγιστο επιτρεπτό ποσοστό απωλειών για την τομάτα είναι 7% (Thanh, 2006), προκύπτει ότι οι τομάτες που συντηρούνται στους 20 ºC και σε σχετική υγρασία κάτω από 65% πρακτικά μετά από 6 ημέρες καθίστανται, από πλευράς απωλειών μάζας, μη εμπορεύσιμες.

Ο Πίνακας 1 παρουσιάζει τις συνθήκες συντήρησης (μέση θερμοκρασία, μέση σχετική υγρασία), την κλίση α και το συντελεστή προσδιορισμού R^2 των σχέσεων που προκύπτουν

για την απώλεια μάζας, από τις δύο πειραματικές σειρές.

Ο ρυθμός απωλειών μάζας της τομάτας τύπου ‘‘cherry’’ συναρτήσει του χρόνου συντήρησης μπορεί να περιγραφεί (Σχήματα 2 & 3) για διάφορες θερμοκρασίες και σχετικές υγρασίες από λογαριθμικές σχέσεις με υψηλό συντελεστή προσδιορισμού ($0.90<R^2<0.96$) της μορφής MLR=A+B×ln(t), όπου: MLR ο ρυθμός απωλειών μάζας (g/kg d) και t ο χρόνος (d).

Όπως ήταν αναμενόμενο, στις υψηλές θερμοκρασίες συντήρησης, στις χαμηλές σχετικές υγρασίες και στην αρχή του χρόνου παρατηρούνται οι μεγαλύτεροι ρυθμοί απώλειας μάζας. Με βάση τις μέσες ημερήσιες απώλειες μάζας (σε συνθήκες κορεσμού) και σε θερμοκρασίες 10 ºC και 20 ºC καρπών τομάτας τύπου ‘‘cherry’’, έγινε προσπάθεια έκφρασης των φυσιολογικών απωλειών μάζας συναρτήσει της θερμοκρασίας συντήρησης.

Πίνακας 1. Μέσες συνθήκες συντήρησης, μέσες κλίσεις (α) και συντελεστές προσδιορισμού (R^2) των απωλειών μάζας συναρτήσει του χρόνου συντήρησης.

	Θ C	RH (%)	a	R^2
1η ΣΕΙΡΑ	10	87	0.328	0.985
		91	0.186	0.980
	20	67	0.589	0.948
		70	0.491	0.959
		99	0.071	0.976
		76	0.384	0.974
2η ΣΕΙΡΑ	10	91	0.150	0.995
		97	0.026	0.878
	20	49	0.459	0.967
		64	0.908	0.991
		96	0.119	0.926
		74	0.849	0.995

Η σχέση που περιγράφει το φαινόμενο για τα τοματίνια Iron με πολύ υψηλό συντελεστή προσδιορισμού (R^2=0.991) είναι εκθετική:

$$MLR_{physiol}=0.059\times e^{0.14\times\theta} \quad (1)$$

όπου $MLR_{physiol}$ ο ρυθμός απωλειών μάζας φυσιολογικής φύσεως (g/kg d) και θ η θερμοκρασία συντήρησης (ºC).

Εάν από τις τιμές των ολικών απωλειών μάζας αφαιρεθούν οι φυσιολογικές απώλειες μάζας που δίνει η προηγούμενη σχέση και οι οποίες αντιστοιχούν σε κάθε θερμοκρασία συντήρησης, προκύπτουν οι απώλειες μάζας που οφείλονται σε φυσικές καθαρά διεργασίες, δηλαδή διάχυση υδρατμών λόγω ελλείμματος πίεσης υδρατμών στον αντίστοιχο χώρο συντήρησης.

Έτσι προκύπτει η εκθετική σχέση (2) με ικανοποιητικό συντελεστή προσδιορισμού (R^2=0.866):

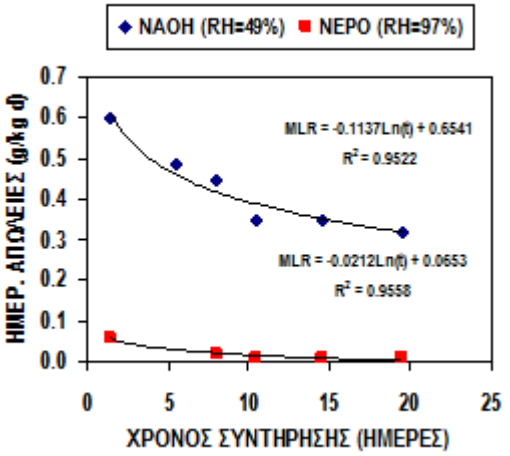
$$MLR_{physic}=0.22\times e^{4.482\times\Delta Pv} \quad (2)$$

όπου, MLR_{physic} ο ρυθμός απωλειών μάζας λόγω διάχυσης (g/kg·d)και ΔP_v το έλλειμμα πίεσης υδρατμών (kPa). Οι συνολικές επομένως απώλειες μάζας συντηρούμενης τομάτας ‘‘cherry’’ εκφράζονται από τη σχέση (3):

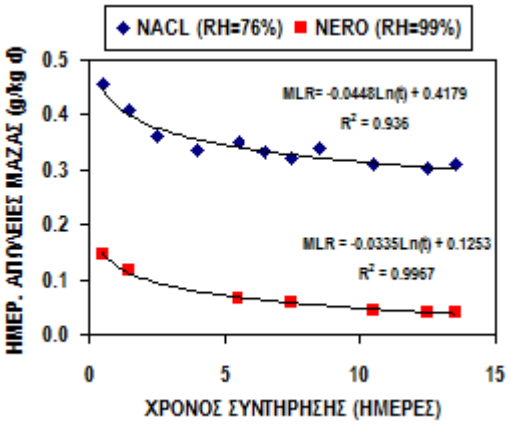
$$MLR_{total}=0.22\times e^{4.482\times\Delta Pv}+0.059\times e^{0.14\times\theta} \quad (3)$$

Με βάση τη σχέση (3) είναι δυνατή η εκτίμηση (πρόβλεψη) των συνολικών απωλειών μάζας συντηρούμενης τομάτας ‘‘cherry’’, όταν είναι γνωστές από καταγραφές του χώρου συντήρησης η μέση θερμοκρασία και η μέση σχετική υγρασία.

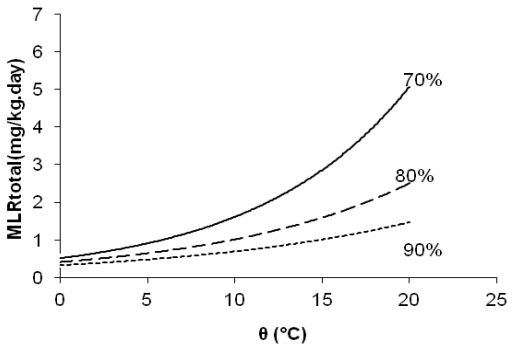
Ενδεικτικά παρουσιάζεται στο Σχήμα 4 ο ρυθμός απωλειών μάζας βιολογικής τομάτας που συντηρείται σε διάφορες θερμοκρασίες και μέσες σχετικές υγρασίες 70%, 80%, και 90%.



Σχήμα 2. Μεταβολή του ημερήσιου ρυθμού απωλειών μάζας (g/kg d) με το χρόνο συντήρησης για θερμοκρασία συντήρησης 10 ºC και RH=49% και 97%.



Σχήμα 3. Μεταβολή του ημερήσιου ρυθμού απωλειών μάζας (g/kg.d) με το χρόνο συντήρησης για θερμοκρασία 20 ºC (RH 76% και 99%).



Σχήμα 4. Μεταβολή του ρυθμού απωλειών μάζας τομάτας τύπου ‘‘cherry’’ με τη θερμοκρασία συντήρησης για τρεις σχετικές υγρασίες 70%, 80% και 90% (μέσες τιμές).

Είναι άξιο προσοχής το γεγονός ότι οι φυσιολογικές απώλειες στις χαμηλές θερμοκρασίες και σχετικές υγρασίες αποτελούν ένα σημαντικότατο ποσοστό που μπορεί να υπερβαίνει το 50%.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η ανάλυση και επεξεργασία των δεδομένων απώλειας μάζας τόσο των ασυσκεύαστων όσο και των συσκευασμένων καρπών τομάτας οδήγησε με υψηλή προσέγγιση ($0.961 \leq R^2 \leq 0.999$) σε εκθετικής μορφής συσχετίσεις του ρυθμού των ολικών και φυσιολογικών απωλειών μάζας. Η διαφορά τιμών των δύο αυτών καμπυλών οδήγησε σε μια εκθετική επίσης σχέση ($R^2=0.866$) που εκφράζει το ρυθμό αφυδάτωσης λόγω φυσικών μόνο διεργασιών συναρτήσει του ελλείμματος πίεσης υδρατμών του χώρου συντήρησης.

Καταγράφοντας λοιπόν τις συνθήκες θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας ενός ψυκτικού θαλάμου και με βάση τις δύο τελευταίες σχέσεις, είναι δυνατόν να εκτιμηθεί (προβλεφθεί) ο ρυθμός ολικών απωλειών μάζας (από φυσιολογικές και φυσικές διεργασίες) της τομάτας ‘‘cherry’’ μετά από συγκεκριμένο χρόνο συντήρησης.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Becker B. R. and Fricke B. A., 1996. Transpiration and respiration of fruits and vegetables. *Proceedings of the Int. Meeting "New Developments in Refrigeration"*, Lexington, pp. 110–121.

Gorini F. L., Sozzi A., Rosati P. and Faedi W., 1979. Weight losses of standard and spur clones of Golden Delicious apples during storage. *Proceedings of XVth Int. Congress of Refrigeration,* Vol. III, pp. 799–806, Venice.

Kays S. J., 1991. *Postharvest physiology of perishable plant products*. Ed.Van Nostrand Reinhold, New York.

Sastry S. K. & Buffington D.E., 1982. Transpiration rates of stored perishable commodities: a mathematical model and experiments on tomatoes, *Transactions of ASHRAE.* 88:159–184.

Sastry S. K., Baird C. D. and Buffington D. E., 1978. Transpiration rates of certain fruits and vegetables. *Transactions of ASHRAE.* 84(1):237–255.

Thanh C.D., 2006. *Introduction to the Postharvest Physiology of Tomato and Chilli*. RETA 6208 Training–Workshop on Postharvest Research and Technology Development.

Van Dijk C., Boeriu C., Peter F., Stolle-Smits T., Tiskens L.M.M, 2006. The firmness of stored tomatoes (cv. Tradiro). 1. Kinetic and near infrared models to describe firmness and moisture loss, Journal of Food Engineering 77:417-26.

Whitelock D.P., Brusewitz G.H. and Ghajar A.J., 1999. Thermal/Physical Properties Affect Predicted Weight Loss of Fresh Peaches, *American Society of Agricultural Engineers*, 42(4):1047–1053.

Woods J.L., 1990. Moisture loss from fruits and vegetables. *Postharvest News and Information*, 1(3):195–199.

Λαμπρινός Γρ. και Μητρόπουλος Δ., 2004. Φορητή συσκευή και μέθοδος μέτρησης αναπνοής καρπών. Οργανισμός Βιομηχανικής ιδιοκτησίας (ΟΒΙ). Αρ. Ευρεσιτεχνίας 1004590/07–06–2004.

Λαμπρινός Γρ. και Μητρόπουλος Δ., 2006. Φορητή Συσκευή και Μέθοδος Μέτρησης του ρυθμού Αναπνοής Καρπών που είναι συσκευασμένοι σε τροποποιημένη ατμόσφαιρα. Οργανισμός Βιομηχανικής ιδιοκτησίας (ΟΒΙ). Αρ. Ευρεσιτεχνίας1005305/02–07–2006.

Λαμπρινός Γρ., Μανωλοπούλου Ε. και Μητρόπουλος Δ., 2006. Αναπνευστικός Θάλαμος, Φορητή Συσκευή και Μέθοδος Μέτρησης του Ρυθμού Αναπνοής Καρπών, ΔΕ ΟΒΙ αριθ. 1005205/02–05–2006.

Σάββας Μ., Μουζάκης Π., Ξανθόπουλος, Γ., Αραβαντινός-Καρλάτος Ε. και Λαμπρινός Γρ., 2013 Επίδραση των συνθηκών συντήρησης, στους ποιοτικούς χαρακτήρες τομάτας ¨Ελπίδα Πρακτικά 8ου Πανελληνίου Συνεδρίου Γεωργικής Μηχανικής Ελλάδας, Βόλος.

Ψυχογιού Στ., Κατσογιάννη Α., Μανωλοπούλου Ε., Ξανθόπουλος Γ., Χατζής Ε., και Λαμπρινός Γρ., 2009. Εκτίμηση των απωλειών μάζας νωπής τομάτας βιολογικής καλλιέργειας κατά την συντήρηση της με ψύξη, Πρακτικά 6ου Πανελληνίου Συνεδρίου Γεωργικής Μηχανικής Ελλάδας, Θεσσαλονίκη, σσ. 841-848

ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΜΑΖΑΣ, ΤΟΥ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΔΙΑΧΥΣΗΣ ΚΑΙ ΤΩΝ ΜΕΤΑΒΟΛΩΝ ΤΗΣ ΜΙΚΡΟΔΟΜΗΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΤΕΧΝΗΤΗ ΞΗΡΑΝΣΗ ΒΕΡΙΚΟΚΟΥ

Αναστάσιος Καφούρος, Γεώργιος Ξανθόπουλος, Διαμάντω Λέντζου, Ευάγγελος Αραβαντινός-Καρλάτος, Γρηγόριος Λαμπρινός

Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας, Τμήμα ΑΦΠ και ΓΜ, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Ιερά Οδός 75, Τ.Κ. 11855, xanthopoulos@aua.gr

Στην εργασία αυτή πραγματοποιήθηκε ξήρανση αποφλοιωμένων και μη βερίκοκων (*var. Tom Cot*), για τη μελέτη των συντελεστών μεταφοράς μάζας, της διάχυσης καθώς και της μικροδομής τους. Μελετήθηκαν επτά ημι-εμπειρικά μοντέλα και από αυτά επιλέχθηκε το λογαριθμικό. Για την αναλυτική επίλυση του *N. Fick* με τη μέθοδο των κλίσεων και τον υπολογισμό του συντελεστή διάχυσης, έγινε γεωμετρικός μετασχηματισμός στα δείγματα από κούφιες σφαίρες σε συμπαγείς. Ο συντελεστής διάχυσης για τα αποφλοιωμένα δείγματα κυμάνθηκε μεταξύ 1.5×10^{-10}-4.6×10^{-10} m^2/s ενώ για τα μη αποφλοιωμένα μεταξύ 1.1×10^{-10}-3.8×10^{-10} m^2/s. Η μελέτη της μικροδομής σε ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης, έδειξε ρηγματώσεις του φλοιού και της σάρκας που μπορεί να εξηγήσουν τις μεταβολές των θερμοφυσικών ιδιοτήτων, ενώ στα αποφλοιωμένα δείγματα ο υψηλότερος ρυθμός ξήρανσης οδήγησε στη συγκέντρωση σακχάρων στην επιφάνεια των δειγμάτων και στη μείωση των εμφανιζόμενων ρηγματώσεων στο εσωτερικό της σάρκας.

Λέξεις κλειδιά: ξήρανση, βερίκοκο, συντελεστής διάχυσης, μικροδομή.

STUDY OF THE MASS TRANSFER AND DIFFUSION COEFFICIENTS AND OF THE MICROSTRUCTURAL CHANGES DURING AIR-DRYING OF APRICOTS

Anastasios Kafouros, George Xanthopoulos, Diamanto Lentzou, Evagellos Aravantinos-Karlatos, Grigorios Lambrinos

Laboratory of Farm Machinery, Department of N.R.M. and A.E., Agricultural University of Athens, 75 Iera Odos Str., Botanikos, GR-11855, Greece, e–mail: xanthopoulos@aua.gr

In the present study, drying of whole peeled and unpeeled apricots (*var. Tom cot*) was carried out to investigate the mass transfer coefficient, the diffusion coefficient and the microstructural changes. Seven semi-empirical models were tested and among them the logarithmic was the most efficient. The *Fickian* diffusion was evaluated by an analytical solution and due to its complexity the hollow spheres transformed into compact employing an equivalent radius. The diffusion coefficient for the peeled samples was ranged between 1.5×10^{-10}-4.6×10^{-10} m^2/s m^2/s and for the unpeeled between 1.1×10^{-10}-3.8×10^{-10}. Microstructure observations from a scanned electron microscope revealed cracks on the epidermis and flesh, which can provide an insight of the thermophysical changes taking place during drying. The high drying rates of the peeled samples resulted in accumulation of sugars on the samples' surface and in lesser cracks in the flesh.

Keywords: drying, apricot, diffusion coefficient, microstructure.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ξήρανση αποτελεί μια από τις πιο διαδεδομένες μεθόδους συντήρησης αγροτικών προϊόντων λόγω της προστιθέμενης αξίας των τελικών προϊόντων και κυρίως των αποξηραμένων στον ήλιο. Η ξήρανση αποτελεί μια σύνθετη θερμοφυσική και βιοχημική διεργασία η οποία χαρακτηρίζεται από ταυτόχρονη μεταφορά θερμότητας και υγρασίας. Το βερίκοκο (*Prunus armeniaca L.*) είναι ένα αρκετά ευαίσθητο προϊόν με σύντομη μετασυλλεκτική ζωή για αυτό και η αποξήρανσή του είναι αρκετά διαδεδομένη. Αν και υπάρχουν αρκετές μελέτες πάνω στην ξήρανση βερίκοκου με θερμό αέρα, μερικές πρόσφατες είναι των Ihns et al. (2011), Igual et al. (2012), Albanese et al. (2013), καμία δεν έχει ασχοληθεί με την επίδραση της επιδερμίδας στην εξέλιξη του φαινομένου.

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι η μελέτη των συντελεστών μεταφοράς μάζας και διάχυσης, του ρυθμού ξήρανσης καθώς και της μικροδομής κατά την ξήρανση αποφλοιωμένων και μη βερίκοκων. Για τον υπολογισμό του συντελεστή διάχυσης εφαρμόστηκε η αναλυτική επίλυση του *N. Fick* με τη *μέθοδο των κλίσεων* αφού πρώτα τα βερίκοκα μετασχηματίστηκαν γεωμετρικά από "κούφιες" σε συμπαγείς σφαίρες. Τέλος μελετήθηκε η μικροδομή σε ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης του φλοιού και της σάρκας κατά τη διάρκεια της ξήρανσης.

2. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΔΙΑΧΥΣΗΣ

Ο φαινόμενος συντελεστής διάχυσης D_{eff} υπολογίστηκε με μια τροποποιημένη μέθοδο σύγκρισης των κλίσεων της θεωρητικής και της πειραματικής καμπύλης ξήρανσης (Karathanos et al. 1990) βασισμένη στον 2ο Ν. *Fick.* Η αναλυτική λύση του Ν. *Fick* σε σφαιρικές συντεταγμένες (ακτινική διάχυση) περιγράφεται από την Εξ. 1 στην οποία η ακτίνα r και ο συντελεστής διάχυσης D_{eff} είναι σταθερά. Στην παρούσα εργασία μια τροποποίηση της προηγούμενης μεθόδου η οποία αναλύθηκε μαθηματικά από τους Ruiz-López et al. (2012), επιτρέπει τη χρήση των r και D_{eff} ως υγρασιακά

εξαρτώμενων. Στην Εξ. 1 περιγράφεται η διάχυση υγρασίας σε συμπαγή σφαίρα.

$$MR = \frac{6}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} \exp\left(-n^2 \pi^2 Fo\right) \quad (1)$$

όπου $Fo=D_{eff} t r_e^{-2}$ είναι ο αριθμός Fourier, n ο αριθμός των όρων που αναπτύσσονται στη σειρά και r_e η ισοδύναμη ακτίνα (m). Στην περίπτωση της ξήρανσης ενός προϊόντος με τον πυρήνα του, η κατάσταση περιπλέκεται, εφόσον ο πυρήνας πρώτον δε συρρικνώνεται, και δεύτερον δεν συμμετέχει στη διάχυση της υγρασίας. Οι Lü and Bülow (2000) μελέτησαν τη διάχυση υγρασίας σε μία "κούφια" σφαίρα με εσωτερική ακτίνα a και εξωτερική b, θεωρώντας την εσωτερική επιφάνεια αδιαπέρατη στη διάχυση υγρασίας και την εξωτερική επιφάνεια σταθερής υγρασίας. Πρότειναν δε, την υιοθέτηση της ισοδύναμης ακτίνας σφαίρας η οποία προκύπτει από την ελαχιστοποίηση της διαφοράς μεταξύ των προβλεπόμενων τιμών MR από την Εξ. 1 για "συμπαγή" σφαίρα και αυτήν από αντίστοιχη "κούφια σφαίρα". Βάσει της προηγούμενης μεθόδου, η ισοδύναμη ακτίνα σφαίρας r_e υπολογίστηκε από τη σχέση $r_e=b-a^3/b^2$. Η εξωτερική (b) και η εσωτερική (a) ακτίνα υπολογίστηκαν από την αντίστοιχη ογκομέτρηση των αποξηραινόμενων δειγμάτων για την εξωτερική ακτίνα και των πυρήνων για την εσωτερική ακτίνα. Οι κλίσεις των πειραματικών καμπυλών ξήρανσης $(dMR/dt)_{exp}$ και των αντίστοιχων θεωρητικών $(dMR/dFo)_{th}$ εκτιμήθηκαν σε κάθε πειραματική τιμή MR στο εύρος $MR_o=1.0$ έως $MR_f=0.07$ μέσω αριθμητικής παραγώγισης (μέθοδος παρεμβολής Lagrange). Τέλος, ο D_{eff} υπολογίστηκε από την Εξ. 2 για το εύρος των πειραματικών τιμών MR για τις οποίες η ισοδύναμη ακτίνα r_e είναι υγρασιακά εξαρτώμενη εφόσον η εξωτερική ακτίνα (b) είναι επίσης υγρασιακά εξαρτώμενη όπως θα παρουσιαστεί παρακάτω. Εφόσον η κλίση των καμπυλών ξήρανσης μεταβάλλεται με την εξέλιξη του φαινομένου η αντίστοιχη τιμή του D_{eff} μεταβάλλεται και αυτή με την περιεχόμενη υγρασία των αποξηραινόμενων δειγμάτων καθιστώντας το πρόβλημα μη-γραμμικό. Η θερμοκρασιακή εξάρτηση των τιμών του D_{eff} εκφράστηκε από την Εξ. 3 όπου T η θερμοκρασία ξήρανσης (K), R η σταθερά των αερίων (8.314 J/mol K), E_a η ενέργεια ενεργοποίησης (J/mol) και a', b', D_o παράμετροι της Εξ. 3. Η εύρεση των τιμών των D_o, E_a, a' και b' έγινε με τον αλγόριθμο Levenberg–Marquardt μη γραμμικής βελτιστοποίησης.

$$D_{eff} = \frac{\left(dMR/dt\right)_{exp}}{\left(dMR/dFo\right)_{th}} r_e^2 \quad (2)$$

$$D_{eff} = D_o \exp\left[-Ea/RT + a'/MR - b'/MR^2\right] \quad (3)$$

3. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

3.1. Πρώτη ύλη και πειραματική διαδικασία

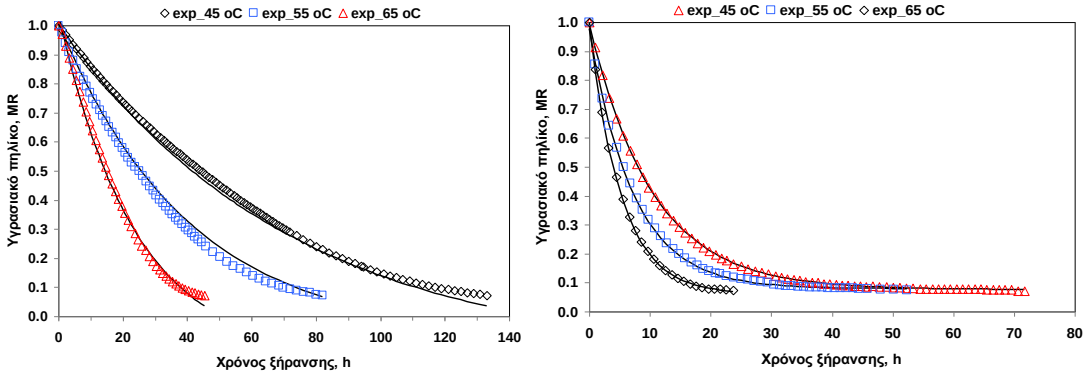
Πραγματοποιήθηκαν 3 πειράματα ξήρανσης στους 45, 55 και 65 °C σε αποφλοιωμένα και μη δείγματα. Οι ογκομετρήσεις πραγματοποιούνταν με τη μέθοδο της εμβάπτισης. Λόγω της γεωμετρίας του προϊόντος, το οποίο προσομοιάζει σε μη συμπαγές σφαιροειδές, και της συρρίκνωσης που υφίσταται κατά την ξήρανση, υιοθετήθηκε η υπόθεση ότι τα αποξηραινόμενα δείγματα ακολουθούν ομοιόμορφη συρρίκνωση σφαίρας στην οποία ο όγκος της ισούται με τον ογκομετρούμενο όγκο των αφυδατούμενων δειγμάτων με $V_{σφαίρας}=(4/3)\pi b^3$, όπου b η εξωτερική ακτίνα ισοδύναμης σφαίρας. Πριν την αποφλοίωση, τα βερίκοκα ζεματίζονταν για 20-25 s σε ζεστό νερό 90 °C. Στα πειράματα, σε 5 δείγματα γινόταν ζύγιση ανά 1 h και σε 3 διαφορετικά δείγματα κάθε 2 h ζύγιση και ογκομέτρηση, ενώ 9 άλλα δείγματα χρησιμοποιήθηκαν στη μελέτη της μικροδομής του φλοιού και της σάρκας σε διάφορες φάσεις της ξήρανσης. Η ξήρανση των δειγμάτων ολοκληρωνόταν όταν το βάρος των αποξηραινόμενων δειγμάτων παρέμενε αμετάβλητο. Μετά το τέλος των πειραμάτων τα δείγματα τοποθετούνταν στους 105 °C για 24 h για τον προσδιορισμό της ξηράς τους ουσίας. Η πρώτη ύλη που χρησιμοποιήθηκε στα πειράματα ξήρανσης είχε μέση μάζα και περιεχόμενη υγρασία αντίστοιχα για τα αποφλοιωμένα δείγματα 27.5±3.4 g και 4.4±0.4 kg_w/kg_{dm} ενώ για τα μη αποφλοιωμένα 31.7±2.9 g και 4.6±0.5 kg_w/kg_{dm}. Η θερμοκρασία και η υγρασία του αέρα του ξήρανσης καταγραφόταν από αισθητήρες Hobo 8H (Onset Computer Corp., Massachusetts, USA) οι οποίοι συνδέονταν με σταθμό αποθήκευσης δεδομένων Hobo Micro Station (Onset Computer Corp., Massachusetts, USA). Οι αισθητήρες ήταν διακριτικής ικανότητας 0.4 °C, 0.5% και ακρίβειας ±0.7 °C, ±3% αντίστοιχα για θερμοκρασία και υγρασία. Η μελέτη της μικροδομής έγινε με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης τύπου JSM-6360 (JEOL, Tokyo, Japan). Η στατιστική ανάλυση έγινε στο στατιστικό πρόγραμμα Statgraphics Centurion XVI (Statpoint Technologies, Virginia, USA) σε επίπεδο σημαντικότητας P≤0.05.

4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

4.1. Εύρεση κατάλληλου μοντέλου ξήρανσης-Ρυθμός ξήρανσης

Ο μέσος ρυθμός ξήρανσης dM/dt στους 45, 55 και 65 °C ήταν αντίστοιχα για μεν τα αποφλοιωμένα βερίκοκα 18.9, 24.6 και 37.2 $g_w/100g_{dm}h$ ενώ για τα μη αποφλοιωμένα 3.6, 6.0 και 13.2 $g_w/100g_{dm}h$. Η αποφλοίωση αύξησε σημαντικά το ρυθμό ξήρανσης, όπως φαίνεται και στο Διάγραμμα 1, του υγρασιακού πηλίκου $MR=M_f/M_o$, παρόλα αυτά, η επίδρασή της μειώνεται αυξανομένης της θερμοκρασίας ξήρανσης. Συγκεκριμένα ο ρυθμός ξήρανσης στα αποφλοιωμένα δείγματα είναι περίπου 5 φορές μεγαλύτερος από τον αντίστοιχο στα μη αποφλοιωμένα στους 45 °C, ενώ αντίστοιχα στους 55 °C και 65 °C είναι 4 και 3 φορές μεγαλύτερος. Πρακτικά αυτό υποδεικνύει την ανάγκη για μείωση της αντίστασης της φλούδας πριν την ξήρανση σε χαμηλότερες θερμοκρασίες ξήρανσης. Στις υψηλότερες θερμοκρασίες θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη και η ποιοτική (οπτική) υποβάθμιση των προϊόντων. Η στατιστική ανάλυση

του MR έδειξε πως υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά (P≤0.05) μεταξύ των μέσων τιμών στους δύο χειρισμούς, ενώ η θερμοκρασία ξήρανσης, όπως και αναμενόταν, επηρεάζει σημαντικά το συνολικό χρόνο ξήρανσης, γεγονός το οποίο και φαίνεται στο Διάγραμμα 1. Αυξανομένης της θερμοκρασίας ξήρανσης, ελαπτώνεται ο αντίστοιχος χρόνος ξήρανσης, έτσι για την επίτευξη τελικού MR=0.07 στα μη αποφλοιωμένα δείγματα απαιτούνται 133 h στους 45 °C, 82 h στους 55 °C και 45 h στους 65°C και αντίστοιχα στα αποφλοιωμένα 71 h στους 45 °C, 52 h στους 55 °C και 24 h στους 65°C. Συγκεκριμένα η αποφλοίωση μείωσε το χρόνο ξήρανσης από 36 % έως και 47 %. Για την εύρεση του κατάλληλου μοντέλου ξήρανσης εξετάστηκαν 7 ημι-εμπειρικά μοντέλα ξήρανσης σε μονή σειρά (Wang and Singh, Logarithmic, Page, Henderson and Pabis Two-term, Modified Henderson and Pabis και Newton) (Xanthopoulos et al. 2007) ως προς την ικανότητά τους να περιγράφουν τις καμπύλες ξήρανσης M=f(t), όπου M η περιεχόμενη υγρασία (kg_w/kg_{dm}) και t ο χρόνος ξήρανσης (h).



Διάγραμμα 1. Πειραματικές (σημεία) και προβλεπόμενες (γραμμές) τιμές MR ολόκληρων βερίκοκων με φλούδα (αριστερά) και χωρίς φλούδα (δεξιά).

Τα μοντέλα αυτά συγκρίθηκαν και ταξινομήθηκαν βάσει των τιμών των R^2_{adj}, SEE και χ^2 όπως προέκυψαν από την εφαρμογή του αλγόριθμου μη-γραμμικής βελτιστοποίησης Levenberg–Marquardt στα πειραματικά δεδομένα. Από την ταξινόμησή τους κατά αύξουσα σειρά για το τυπικό σφάλμα απόκλισης SEE και κατά φθίνουσα για τους συντελεστές R^2_{adj} και χ^2, το λογαριθμικό μοντέλο [MR=aexp(-kt)+c] βρέθηκε ότι είναι το καλύτερο για την περιγραφή της πειραματικών καμπυλών σε όλες τις περιπτώσεις (Πίνακας 1).

Πίνακας 1. Τιμές των a, k και c του λογαριθμικού μοντέλου ξήρανσης με τις στατιστικές παραμέτρους.

Θερμοκρασία (°C)	Χειρισμός	a	k (h^{-1})	c	R_{adj}^2	χ^2	SEE
45	μη αποφλοιωμένα	1.150	0.013	-0.146	0.999	0.005	0.007
55	μη αποφλοιωμένα	1.086	0.026	-0.078	0.999	0.004	0.008
65	μη αποφλοιωμένα	1.178	0.042	-0.140	0.996	0.010	0.017
45	αποφλοιωμένα	0.920	0.098	0.076	0.999	0.0003	0.002
55	αποφλοιωμένα	0.900	0.136	0.079	0.999	0.001	0.005
65	αποφλοιωμένα	0.941	0.193	0.060	0.999	0.0001	0.002

Η σταθερά ξήρανσης (k) του λογαριθμικού μοντέλου για κάθε χειρισμό συσχετίστηκε με τη θερμοκρασία ξήρανσης μέσω μιας εξίσωσης *Arrhenius*, (Εξ. 4) για μη αποφλοιωμένα και (Εξ. 5) για αποφλοιωμένα δείγματα.

$$k=1.82\times10^{6}\exp(-49{,}408/RT) \quad (4)$$

R^2_{adj}=0.984, SEE=0.002

$$k=10{,}763\exp(-30{,}735/RT) \quad (5)$$

R^2_{adj}=0.997, SEE=0.00

Η ενέργεια ενεργοποίησης Ea των μη αποφλοιωμένων δειγμάτων είναι περίπου 60% μεγαλύτερη από αυτήν στα αποφλοιωμένα, υποδεικνύοντας την ανάγκη για περισσότερη ενέργεια (θερμότητα) για τη διάχυση υγρασίας στα μη αποφλοιωμένα δείγματα.

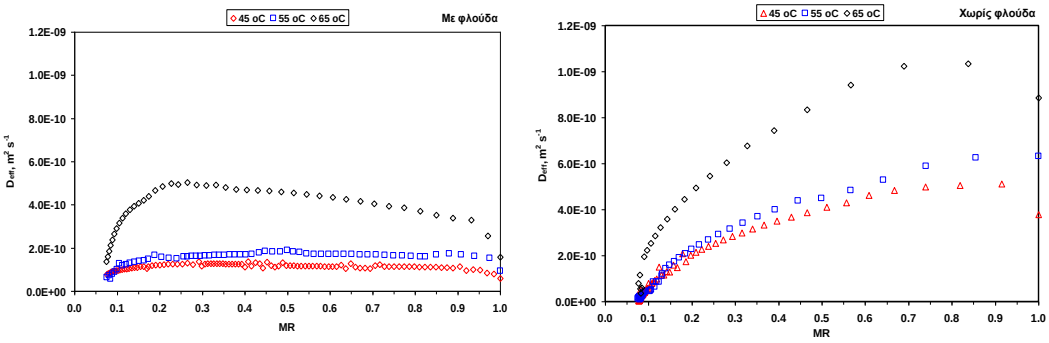
4.2. Υπολογισμός της συρρίκνωσης των αποξηραινόμενων δειγμάτων

Η στατιστική ανάλυση έδειξε ότι μόνο η περιεχόμενη υγρασία επηρεάζει σημαντικά τη συρρίκνωση (V_t/V_o) των αποξηραινόμενων δειγμάτων. Η μεταβολή της συρρίκνωσης εμφανίζεται γραμμική στο μεγαλύτερο μέρος του υγρασιακού εύρους (0.3<MR<1.0) γεγονός το οποίο φανερώνει ότι η συρρίκνωση τουλάχιστον σε αυτό το εύρος ήταν ομοιόμορφη. Η συσχέτιση της συρρίκνωσης με το MR δίνεται από τη σχέση $V_t/V_o = b_t^3/b_o^3 = \xi+(1-\xi)MR^{\lambda}$ των Ruiz-López et al. (2012) όπου ξ και λ είναι αδιάστατες παράμετροι (λ=0 αμελητέα συρρίκνωση, λ=1 ομοιόμορφη συρρίκνωση). Από την εφαρμογή του αλγόριθμου Levenberg–Marquardt μη-γραμμικής βελτιστοποίησης στα πειραματικά δεδομένα (P≤0.05) προέκυψαν οι τιμές των παραμέτρων της προηγούμενης σχέσης, ξ=0.167±0.004, λ=1.158±0.02, με R^2_{adj}=0.997 και SEE=0.017. Από τη σχέση αυτή υπολογίζεται η εξωτερική ακτίνα

σφαίρας (b) θεωρώντας ότι τα βερίκοκα προσομοιάζουν σε σφαίρες ίσου όγκου με τον ογκομετρούμενο. Με την ίδια μεθοδολογία υπολογίστηκε και ο μέσος όγκος των πυρήνων 1.2±0.2 cm^3 και η αντίστοιχη ισοδύναμη ακτίνα τους, 0.66 cm.

4.3. Υπολογισμός του συντελεστή διάχυσης των αποξηραινόμενων δειγμάτων

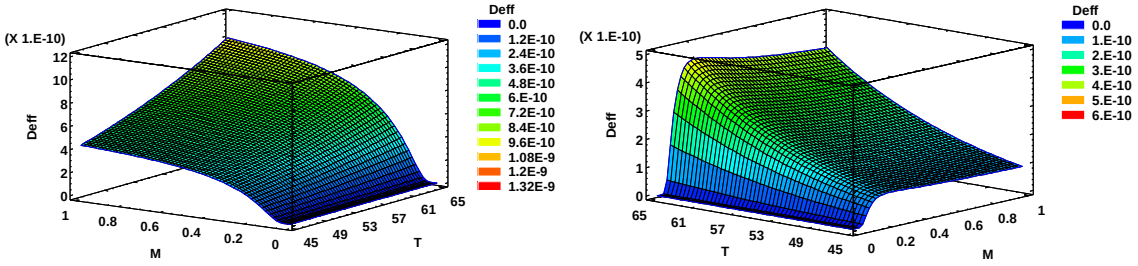
Οι τιμές του D_{eff} για όλες τις πειραματικές σειρές παρουσιάζονται στο Διάγραμμα 2 συναρτήσει του MR όπου και είναι εμφανής η επίδραση της θερμοκρασίας και της υγρασίας στη μεταβολή του D_{eff}. Αυξανομένης της θερμοκρασίας αυξάνεται ο D_{eff} ενώ ακολουθεί μια παραβολική εξέλιξη με την υγρασία η οποία μπορεί να εξηγηθεί από την αλλαγή του μηχανισμού μεταφοράς υγρασίας λόγω της ανάπτυξης πόρων και σχισμών τόσο στη σάρκα όσο και στην επιδερμίδα του αποξηραινόμενου προϊόντος. Για τιμές υγρασίας MR<0.2, ο D_{eff} μειώνεται απότομα λόγω της μείωσης του διαθέσιμου νερού και της ισχυρής δέσμευσής του στα σημεία ρόφησης. Οι μέσες τιμές του D_{eff} για τους 45, 55 και 65 °C ήταν αντίστοιχα για μεν τα αποφλοιωμένα βερίκοκα 1.5×10^{-10}, 1.7×10^{-10} και 4.6×10^{-10} m^2/s ενώ για τα μη αποφλοιωμένα 1.1×10^{-10},1.5×10^{-10} και 3.8×10^{-10} m^2/s. Ο μέσος D_{eff} στα αποφλοιωμένα βερίκοκα είναι υψηλότερος από ότι στα μη αποφλοιωμένα λόγω της αφαίρεσης της επιδερμίδας που λειτουργεί ως 'εμπόδιο' στην κίνηση του νερού από το εσωτερικό του προϊόντος προς την ατμόσφαιρα. Η συσχέτιση του D_{eff} με τις θερμοκρασίες ξήρανσης και το MR, τόσο στα αποφλοιωμένα όσο και στα μη αποφλοιωμένα βερίκοκα έγινε με μια τροποποιημένη εξίσωση τύπου Arrhenius (Εξ. 3) από όπου και υπολογίστηκαν οι παράμετροι D_o, E_a, a', b' (Πίνακας 2).



Διάγραμμα 2. Μεταβολή του D_{eff} αποξηραινόμενων βερίκοκων με φλούδα ή χωρίς φλούδα, συναρτήσει του MR για τις 3 θερμοκρασίες ξήρανσης.

Πίνακας 2. Τιμές των παραμέτρων της Εξ. 3 από μη-γραμμική παλινδρόμηση.

	Παράμετροι	Τιμές	Ασυμπτωτικό σφάλμα	R^2_{adj}	SEE
Χωρίς φλούδα	D_o	0.0008	$\pm1.0\times10^{-5}$	0.957	4.8×10^{-11}
	E_a (J/mol)	37,652	$\pm3.2\times10^{-19}$		
	a	-0.188	$\pm4.5\times10^{-19}$		
	b	0.004	$\pm3.0\times10^{-18}$		
Με φλούδα	D_o	8.667	$\pm9.0\times10^{-2}$	0.924	3.3×10^{-11}
	E_a (J/mol)	67,303	$\pm7.2\times10^{-25}$		
	a	0.128	$\pm2.7\times10^{-19}$		
	b	0.015	$\pm2.9\times10^{-18}$		

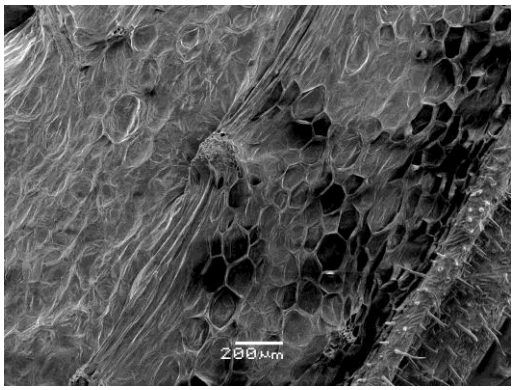


Διάγραμμα 3. Επιφάνεια απόκρισης του D_{eff} συναρτήσει του MR και Τ για τα αποφλοιωμένα (αριστερά) και μη αποφλοιωμένα (δεξιά) βερίκοκα.

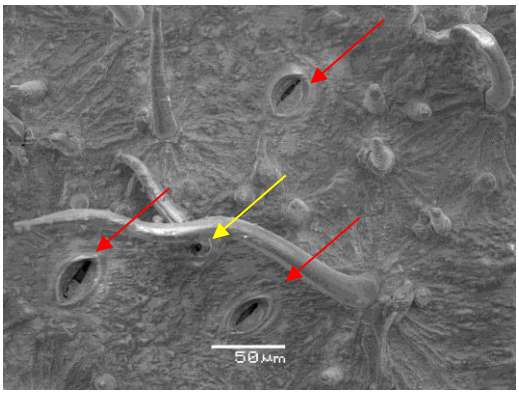
Η μεταβολή του D_{eff}, του MR και της θερμοκρασίας ξήρανσης (Τ) δίνονται σε δύο επιφάνειες απόκρισης, για τα αποφλοιωμένα και μη αποφλοιωμένα βερίκοκα (Διάγραμμα 3). Η ενέργεια ενεργοποίησης Ea των μη αποφλοιωμένων δειγμάτων (Πίνακας 2) είναι περίπου 78% μεγαλύτερη από αυτήν στα αποφλοιωμένα, υποδεικνύοντας την ανάγκη για περισσότερη ενέργεια (θερμότητα) για τη διάχυση υγρασίας στα μη αποφλοιωμένα δείγματα.

4.4. Μεταβολή της μικροδομής των αποξηραινόμενων βερίκοκων

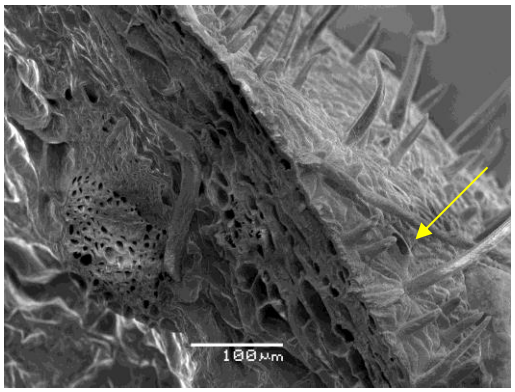
Κατά τη διάρκεια των πειραμάτων, ελήφθησαν ψηφιακές φωτογραφίες από ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης τύπου JSM-6360 (JEOL, Tokyo, Japan) για την ταυτοποίηση δομικών μεταβολών στη φλούδα και τη σάρκα αποξηραινόμενων δειγμάτων σε διάφορα στάδια της διεργασίας (Εικόνες 1-4). Παρατηρήσεις στα νωπά δείγματα (Εικόνα 1) έδειξαν ότι στα πρώτα στρώματα της υποδερμίδας υπάρχουν μικρά κύτταρα τα οποία είναι εφαπτομενικά επιμήκη, ενώ έχουμε ταχεία διαβάθμιση στα υπόλοιπα στρώματα της υποδερμίδας μέχρι τα σφαιρικά-λεπτού τοιχώματος παρεγχυματικά κύτταρα της μεσαίας στρώσης. Στην επιφάνεια του βερίκοκου διακρίνονται τα τριχίδια. Στην Εικόνα 2 παρουσιάζεται η επιδερμίδα στους 65 ^{o}C προς το τέλος της ξήρανσης. Εμφανίζονται τα στομάτια να είναι ανοικτά και μέσω αυτών πιθανώς να γίνεται ένα μεγάλο μέρος της εξόδου υδρατμών. Επίσης, εμφανίζονται και κάποια τριχίδια σπασμένα με ορατή την οπή στη βάση τους. Στην Εικόνα 3 είναι φανερή η αποδόμηση της επιδερμίδας, η οποία γίνεται εύθρυπτη με την εμφάνιση ρηγματώσεων και θυλάκων μέσω των οποίων είναι δυνατή η κίνηση των υδρατμών. Στην Εικόνα 4 παρουσιάζονται δομικές μεταβολές σε αποφλοιωμένη επιφάνεια αλλά και σε τμήμα κάτω από αυτήν. Παρατηρείται συσσώρευση σακχάρων στην επιφάνεια, η οποία προσδίδει μια υαλώδη όψη. Στην περίπτωση αυτή, η σάρκα εμφανίζεται πιο συνεκτική χωρίς την υφή που παρατηρείται στα μη αποφλοιωμένα δείγματα. Οι δομικές αυτές μεταβολές είναι ιδιαίτερα χρήσιμες στην ερμηνεία των θερμοφυσικών ιδιοτήτων κατά την ξήρανση.



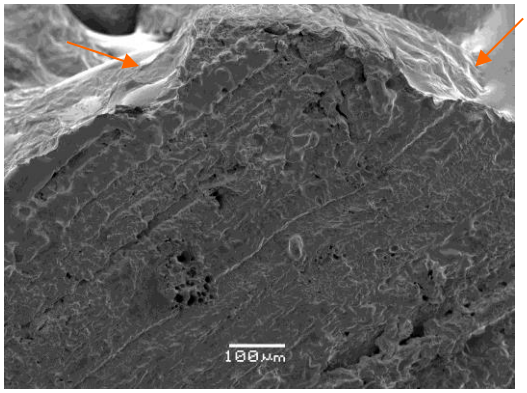
Εικόνα 1. Τομή νωπού βερίκοκου από ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης.



Εικόνα 2. Επιδερμίδα βερίκοκου, 65 ^{o}C (t=50 h, MR=0.07). (Στομάτια, κόκκινα βέλη; βάση τριχιδίου, κίτρινο βέλος).



Εικόνα 3. Τομή βερίκοκου (με φλούδα), 45 ^{o}C (t=71.8 h, MR=0.29). (Βάση τριχιδίου, κίτρινο βέλος).



Εικόνα 4. Τομή βερίκοκου (χωρίς φλούδα), 55 ^{o}C (t=48 h, MR=0.08). (Πορτοκαλί βέλη, συγκέντρωση σακχάρων στην αποφλοιωμένη επιφάνεια δειγμάτων).

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τα μοντέλα ξήρανσης που μελετήθηκαν επιλέχθηκε το λογαριθμικό ως το καλύτερο. Η ενέργεια ενεργοποίησης από τη συσχέτιση της σταθεράς ξήρανσης (k) με τη θερμοκρασία ξήρανσης για τα μη αποφλοιωμένα δείγματα ήταν 60% μεγαλύτερη από την αντίστοιχη των αποφλοιωμένων. Από το μέσο ρυθμό ξήρανσης φαίνεται ότι η αποφλοίωση αύξησε σημαντικά το ρυθμό ξήρανσης παρόλα αυτά το πλεονέκτημα της αποφλοίωσης μειώνεται αυξανομένης της θερμοκρασίας ξήρανσης γεγονός που υποδεικνύει την ανάγκη για μείωση της αντίστασης της φλούδας πριν την ξήρανση σε χαμηλές θερμοκρασίες ξήρανσης. Η μελέτη της μικροδομής του φλοιού και της σάρκας κατά την ξήρανση με τη χρήση ηλεκτρονικού μικροσκοπίου έδειξε εκτεταμένες ρηγματώσεις του φλοιού και της σάρκας που εν μέρει εξηγούν τις μεταβολές των θερμοφυσικών ιδιοτήτων κατά την ξήρανση. Στα δείγματα χωρίς φλοιό, οι μεταβολές είναι ταχύτερες με συνέπεια τη συγκέντρωση σακχάρων στην επιφάνεια των δειγμάτων και το μειωμένο ποσοστό ρηγματώσεων στο εσωτερικό της σάρκας.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ευχαριστούμε το Δ/ντή του Εργαστηρίου Ηλεκτρονικής Μικροσκοπίας καθηγητή κ. Κ. Φασέα και τον κ. Ι. Ψαροκωστόπουλο ΕΤΕΠ, του Τμήματος Γεωπονικής Βιοτεχνολογίας του Γ.Π.Α. για την καθοδήγηση και τεχνική υποστήριξη που μας παρείχαν.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Albanese, D., Cinquanta, L., Cuccurullo, G., Di Matteo, M., 2013. Effects of microwave and hot-air drying methods on colour, b-carotene and radical scavenging activity of apricots. Int. J. Food Sci. Tech., 48(6):1327-1333.

Iguala, M., García-Martíneza, E., Martín-Esparzab, M.E., Martínez-Navarrete N., 2012. Effect of processing on the drying kinetics and functional value of dried apricot. Food Res. Int., 47(2):284–290.

Ihns, R., Diamante, L.M., Savage, G.P., Vanhanen L., 2011. Effect of temperature on the drying characteristics, colour, antioxidant and beta-carotene contents of two apricot varieties. Int. J. of Food Sci. Tech., 46:275-283.

Karathanos, V.T., Villalobos, G., Saravacos, G.D., 1990. Comparison of two methods of estimation of the effective water diffusivity from drying data. J. Food Sci., 55(1):218–223, 231.

Lü, Y., Bülow, M., 2000. Analysis of Diffusion in Hollow Geometries. Adsorption, 6:125-136.

Ruiz-López, I.I., Ruiz-Espinosa, H., Arellanes-Lozada, P., Bárcenas-Pozos, M.E., García-Alvarado, M.A., 2012. Analytical model for variable moisture diffusivity estimation and drying simulation of shrinkable food products. J. Food Eng., 108:427-435.

Xanthopoulos G., Oikonomou, N., Lambrinos, G., 2007. Applicability of a single–layer drying model to predict the drying rate of whole figs. J. Food Eng., 81:553–559.

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΙΣΕΝΤΡΟΠΙΚΟΥ ΒΑΘΜΟΥ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ ΣΥΜΠΙΕΣΤΗ ΚΑΙ ΤΗΣ ΣΧΕΣΗΣ ΣΥΜΠΙΕΣΗΣ ΣΤΗΝ ΑΠΟΔΟΣΗ ΕΝΟΣ ΨΥΚΤΙΚΟΥ ΣΥΓΚΡΟΤΗΜΑΤΟΣ

Ν. Τσουκαλάς και Γρ. Λαμπρινός
Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Α.Φ.Π. & Γ.Μ., Ιερά Οδός 75, Τ.Κ. 11855, Αθήνα, Τηλ. 210 529 4029
Fax. 210 529 4032, e–mail: refrigenergy@aua.gr

Τόσο ο ογκομετρικός, όσο και ο ενδεικνυμένος βαθμός εξαρτώνται από τη σχέση συμπίεσης, τη θερμοκρασία εξάτμισης, την υπερθέρμανση, το ψυκτικό ρευστό, το είδος και τα χαρακτηριστικά του συμπιεστή. Μέχρι σήμερα η πρόβλεψη (προεκτίμηση) του βαθμού απόδοσης γίνεται με την εμπειρική σχέση Lorentzen, η οποία διανύει την 5η δεκαετία ζωής. Μέσα σε αυτό το χρονικό διάστημα, οι κλασσικοί (παλινδρομικοί) συμπιεστές έχουν αλλάξει χαρακτηριστικά, ενώ έχουν προκύψει και νέοι τύποι συμπιεστών με τελείως διαφορετική συμπεριφορά. Παράλληλα έχει γίνει επανάσταση και με τα νέα (περιβαλλοντικά) ψυκτικά ρευστά. Η μελέτη είναι υπολογιστική, για πέντε σύγχρονα και οικολογικά ψυκτικά ρευστά (R134a, R22, R404, R410 και R407) και τεσσερα καθεστώτα λειτουργίας. Από τα αποτελέσματα συμπεραίνονται τα εξής:

1. Ο Συντελεστής Ψυκτικής Συμπεριφοράς ($COP_ψ$) με τις νέες εκτιμήσεις μειώνεται με τη σχέση συμπίεσης σε μικρότερο βαθμό απ' ότι ο αντίστοιχος με τη σχέση Lorentzen.
2. Ο Συντελεστής Ψυκτικής Συμπεριφοράς $COP_ψ$ αυξάνεται γραμμικά (με υψηλό συντελεστή προσδιορισμού R^2) με την αύξηση του ισεντροπικού βαθμού απόδοσης. Ωστόσο η εκτιμούμενη τιμή απομακρύνεται από την αντίστοιχη της σχέσης Lorentzen καθώς αυξάνει η σχέση συμπίεσης. Για σχέσεις συμπίεσης μεγαλύτερες του 4 η διαφορά αυτή καθίσταται σημαντική.
3. Σε σχέσεις συμπίεσης μικρότερες του 4 οι εκτιμούμενες αναλυτικά νέες τιμές διαφέρουν σημαντικά από αυτές της σχέσης Lorentzen μόνο στη περίπτωση του ψυκτικού ρευστού R22.

Λέξεις κλειδιά: Ισεντροπικός βαθμός απόδοσης, σχέση συμπίεσης, $COP_ψ$, ψυκτικά ρευστά.

THE EFFECT OF ISENTROPIC EFFICIENCY AND COMPRESSION RATIO ON A REFRIGERATION UNIT'S COEFFICIENT OF PERFORMANCE (COP)

N. Tsoukalas & Gr. Lambrinos
Agricultural University of Athens, Dep. of NRM & AE, Iera Odos 75, 11855 Athens
Tel. +30 210 5294029, Fax +30 210 5294032, e-mail: refrigenergy@aua.gr

The volumetric and indicated efficiency depend on the compression ratio, evaporation temperature, superheating, refrigerant and the compression characteristics. For the last 50 years, the prediction of the efficiency is managed with the help of the empirical LORENTZEN relationship. In the meantime, the classic compressors have radically changed, while a new generation of refrigerants has occurred. The present study is theoretical, using the relevant software, to compare five contemporary refrigerants (R134a, R22, R404, R410 and R407) in four operating conditions. The results show that:

1. The coefficient of cooling performance (COP_C) in relation to the compression ratio, as estimated in this study, is always lower than the one estimated through the LORENTZEN relationship.
2. The COP_C is linearly increased with isentropic efficiency, presenting a high coefficient of determination. However, when the compression ratio increases, the COP_C values 'stray' from those estimated using the LORENTZEN relationship. In the case of compression ratios bigger than 4, this deviation is very important.
3. In the case of compression ratios lower than 4, the values estimated in this study deviate from those of the LORENTZEN relationship only in the analysis of R22.

Key words: isentropic efficiency, compression ratio, COP_C, refrigerants

1. Εισαγωγή

Ο ογκομετρικός και ο ενδεικνυμένος βαθμός απόδοσης ενός συμπιεστή παίζει σημαντικό ρόλο στην απόδοση (συντελεστή συμπεριφοράς) μίας ψυκτικής μηχανής. Τόσο ο ογκομετρικός, όσο και ο ενδεικνυμένος βαθμός εξαρτώνται από τη σχέση συμπίεσης, την θερμοκρασία εξάτμισης, την υπερθέρμανση, το ψυκτικό ρευστό, το είδος και τα χαρακτηριστικά του συμπιεστή. Μέχρι σήμερα η πρόβλεψη (προεκτίμηση) του βαθμού απόδοσης γίνεται με την εμπειρική σχέση LORENTZEN , η οποία διανύει την πέμπτη δεκαετία ζωής. Μέσα σ' αυτό το χρονικό διάστημα οι κλασσικοί (παλινδρομικοί) συμπιεστές έχουν αλλάξει χαρακτηριστικά όπως συμβαίνει και με τους κινητήρες, ενώ έχουν προκύψει νέοι τύποι συμπιεστών , όπως περιστροφικοί, κοχλιωτοί κ.λ.π. με τελείως διαφορετική συμπεριφορά. Παράλληλα έχει γίνει μεγάλη επανάσταση και με τα νέα (περιβαλλοντικά) ψυκτικά ρευστά. Η πρόβλεψη του βαθμού απόδοσης του συμπιεστή και του συντελεστή συμπεριφοράς του ψυκτικού συγκροτήματος (COP) βοηθά μελετητές και σχεδιαστές σε εναλλακτικές λύσεις για τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας. Η μοντελοποίηση των χαρακτηριστικών λειτουργίας και κατανάλωσης των

παλινδρομικών συμπιεστών για τις ψυκτικών εγκαταστάσεων έχει μελετηθεί από πολλούς ερευνητές . Τα μαθηματικά αυτά μοντέλα μπορούν να χωριστούν σε τρεις κατηγορίες**: εμπειρικά , ημι-εμπειρικά** και **αναλυτικά μοντέλα.** Στην πρώτη περίπτωση, οι σχέσεις βασίζονται αποκλειστικά σε πειραματικά δεδομένα, αλλά δεν έχουν μεγάλη φυσική σημασία και δεν μπορούν να εφαρμοστούν εκτός του εύρους του πειραματικού ελέγχου (ASHRAE, 1993). Η δεύτερη προσέγγιση, από την άλλη πλευρά, βασίζεται σε απλές θερμοδυναμικές σχέσεις στις οποίες ενσωματώνονται και εμπειρικοί όροι από πειραματικά δεδομένα (Popovic και Shapiro, 1995; Winandy et al., 2002; Hermes και Melo, 2006, 2007). Η τρίτη τέλος κατηγορία χρησιμοποιείται για να μελετήσει τις λεπτομέρειες του σχεδιασμού του συμπιεστή, όπως ροές στην βαλβίδα, μεταφοράς θερμότητας στον κύλινδρο, διαρροές στο σύστημα κύλινδρος-έμβολο, που φέρει απώλειες, κλπ, απαιτεί όμως υψηλές γνώσεις υπολογιστικών προγραμμάτων (MATLAB , MATHCAD , TRNSYS) , μεγάλο και εξειδικευμένο όγκο δεδομένων (π.χ. γεωμετρία βαλβίδων) , τα οποία συνήθως είναι διαθέσιμα μόνο στους κατασκευαστές (Roy, 1988; Grodent et al,1988; Chen et al,1991; Perez-Segara et al, 1994; 1996; και 1998 Logo και Gasparella, 2003) και τελικά πειραματική επαλήθευση.

Η τρέχουσα ερευνητική εργασία σκοπεύει στη δημιουργία ένός ημι-εμπειρικού μοντέλου πρόβλεψης της απόδοσης του συμπιεστή και της εγκατάστασης με διάφορα ψυκτικά ρευστά, συναρτήσει του ισεντροπικού βαθμού απόδοσης (επίδραση της λειτουργίας του συμπιεστή) και της σχέσης συμπίεσης (επίδραση των συνθηκών λειτουργίας και του χρησιμοποιούμενου ρευστού). Το μοντέλο βασίζεται σε θερμοδυναμικές εξισώσεις και δεδομένα ψυκτικών ρευστών που περιλαμβάνονται σε γνωστά υπολογιστικά προγράμματα, ως μέτρο δε σύγκρισης χρησιμοποιούνται οι γνωστές εμπειρικές σχέσεις G.Lorenzen.

2. Υλικα και μέθοδος

2.1 Θεωρητικό υπόβαθρο

Η απόδοση ενός συμπιεστή συχνά παρουσιάζεται από τους κατασκευαστές είτε ως διάγραμμα είτε σε **πίνακες απόδοσης- ισχύος** για συγκεκριμένη περιοχή θερμοκρασιών συμπύκνωσης και εξάτμισης.

Με τον όρο απόδοση του ψυκτικού συγκροτήματος εννοούμε την ένδειξη της ενεργειακής απόδοσης ολόκληρου του ψυκτικού κύκλου, που συνήθως εκφράζεται με τον συντελεστή συμπεριφοράς (COP). Ο τελευταίος επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες όπως ψυκτικό ρευστό, θερμοδυναμικό κύκλο, θερμοκρασίες συμπύκνωσης/εξάτμισης, λειτουργία του συμπιεστή, κατανάλωση ενέργειας. Κάθε ένας από τους παραπάνω παράγοντες έχει μια συγκεκριμένη επίδραση στο COP και κατ' επέκταση στην συνολική ενεργειακή απόδοση. Εάν το χρήσιμο ενεργειακό μέγεθος είναι η ενέργεια ψύξης $\mathbf{Q_\psi}$(απορροφούμενη θερμότητα), με κατανάλωση μηχανικού έργου **W**, τότε ομιλούμε για ψυκτική μηχανή ή ψυκτική εγκατάσταση και η απόδοσή της ορίζεται από τον **συντελεστή ψυκτικής συμπεριφοράς:**

$$\mathbf{COP_\psi}\ (\text{θεωρητικός}) = \frac{Q\psi}{W}$$

Για να υπολογισθεί ο πραγματικός συντελεστής συμπεριφοράς, $\mathbf{COP_{\psi,\,REAL}}$, πρέπει να είναι γνωστός ο ολικός βαθμός απόδοσης του συμπιεστή, $\mathbf{n_{o\lambda}}$, ο οποίος εξαρτάται από τον ενδεικνυμένο βαθμό απόδοσης $\mathbf{n_i}$ και τον μηχανικό βαθμό απόδοσης $\mathbf{n_m}$ του συμπιεστή:

$n_{o\lambda} = n_i \times n_m$ (2)

Ο μηχανικός βαθμός απόδοσης δίδεται από τον κατασκευαστή και κυμαίνεται γύρω στο 0,90. Ο ενδεικνυμένος βαθμός απόδοσης εκτιμάται μέχρι σήμερα συνήθως από την εμπειρική σχέση του LORENZEN :

$$n_{iL} \approx n_{vL} = 1 - 0.05\,\frac{Pc}{Pe}$$

όπου, P_c η πίεση συμπύκνωσης, P_e η πίεση εξάτμισης, $\mathbf{r} = \frac{Pc}{Pe}$ η σχέση συμπίεσης, $\mathbf{n_{iL}}$ ο ενδεικνυμένος βαθμός απόδοσης και $\mathbf{n_{vL}}$ ο ογκομετρικός βαθμός απόδοσης του συμπιεστή αμφότεροι εκτιμούμενοι με τη σχέση του LORENZEN για r<7.

Η προτεινόμενη αναλυτική σχέση εκτίμησης του ενδεικνυμένου βαθμού απόδοσης_γράφεται ως εξής:

$$\mathbf{n_{ic} = \frac{W_{rev}}{W_{real}} = \frac{[R/(\gamma-1)]^* (T_2-T_1)}{h_2-h_1}}$$

όπου : $\mathbf{n_{ic}}$ ο νέος ενδεικνυμένος βαθμός απόδοσης, W_{rev} (kJ) το απορροφούμενο έργο αντιστρεπτής μεταβολής, W_{real} (kJ) το έργο μη αντιστρεπτής μεταβολής, R(kJ/kg*K) = 0.09614, γ = (cp/cv) για το εκάστοτε ψ.ρευστό, h2-h1(kj/kg) η διαφορά ειδ.ενθαλπίας των σημείων 1(αναρόφηση) και 2(κατάθλιψη) του κύκλου, T1 , T2 οι αντίστοιχες θερμοκρασίες στα σημεία 1 και 2 του κύκλου.

Παρατηρούμε, ότι ενώ η σχέση Lorentzen έχει σαν παράγοντα μόνο την σχέση συμπίεσης (r=Pc/Pe) , η νέα προτεινόμενη σχέση λαμβάνει υπ' όψη της πολύ περισσότερες μεταβλητές και γι'αυτό θεωρείται πως έχει μεγαλύτερη ακρίβεια.

2.2 Μεθοδολογία

Οι υπολογισμοί πραγματοποιήθηκαν με το πρόγραμμα COOLPACK (Technical University of Denmark , 2000) το οποίο περιέχει διάφορα μοντέλα προσομοίωσης. Το πρόγραμμα χρησιμοποιήθηκε για ανάλυση του ψυκτικού κύκλου, διαστασιολόγηση του συστήματος, υπολογισμούς των μερών του ψυκτικού συγκροτήματος, παροδική προσομοίωση και επιμέρους υπολογισμούς (θερμοδυναμικές ιδιότητες του ψυκτικού ρευστού).

Οι παραπάνω προσομοιώσεις έγιναν για πέντε ψυκτικά ρευστά (R134a , R22 , R410a , R404a ,

R407c) και για τέσσερα διαφορετικά καθεστώτα λειτουργίας(Λεβέντη Α. και Λαμπρινός Γρ., 2009):

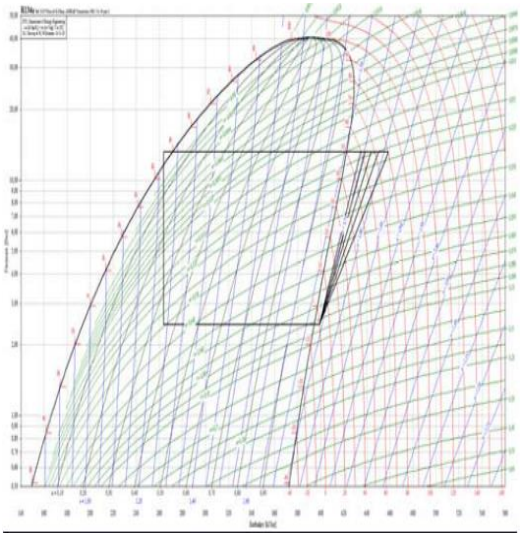
i. Συντήρησης αγροτικών προϊόντων (θe = -5° C , θc = +50° C)

ii. Συντήρησης με υδρόψυκτο συμπυκνωτή (θe = -5° C , θc = +30° C) .

iii. Κατάψυξης αγροτικών προϊόντων (θe = -30° C , θc = +50° C)

iv. κατάψυξης με υδρόψυκτο συμπυκνωτή (θe = -30° C , θc = +30° C) .

Έτσι , με δεδομένα τις θερμοκρασίες εξάτμισης και συμπύκνωσης , τους ψυκτικούς κύκλους με υπερθέρμανση και υπόψυξη 5 K αντίστοιχα και με βασική παράμετρο τον ισεντροπικό βαθμό συμπίεσης (n_{is} = 1 , n_{is} = 0.9 , n_{is} = 0.8 , n_{is} = 0.7 , n_{is} = 0.6) (Σχήμα 1) αφού ο ισεντροπικός βαθμός εκτόνωσης ελάχιστα μεταβάλλεται, υπολογίστηκαν με την βοήθεια υπολογιστικών φύλλων (excel) όλα τα βασικά μεγέθη προκειμένου να πινακοποιηθούν βαθμοί απόδοσης και συντελεστές συμπεριφοράς, τόσο με τη σχέση LORENZEN, όσο και με τη νέα σχέση εκτίμησης του ενδεικνυμένου βαθμού απόδοσης. Εξυπακούεται ότι κάθε ψυκτικό ρευστό έδωσε διαφορετικούς κύκλους στα τέσσερα καθεστώτα λειτουργίας, επομένως και διαφορετικές σχέσεις συμπίεσης.

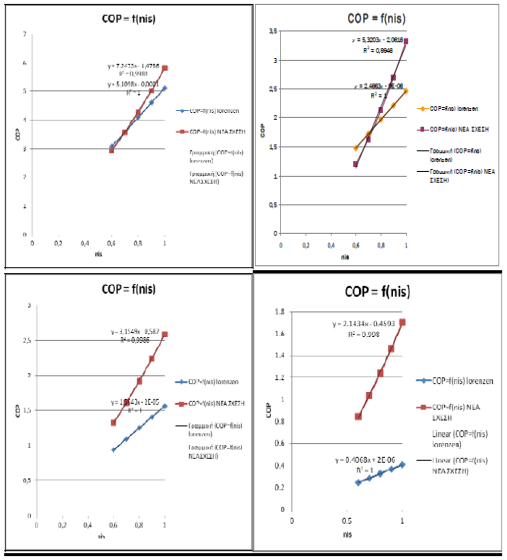


Σχήμα 1. Μεταβολή αερόψυκτου κύκλου συντήρησης (θe = -5° C , θc = +50° C) όταν μεταβάλλεται ο ισεντροπικός βαθμός συμπίεσης από 1,0 έως 0,6 (εφαρμογή σε R134a)

3. Αποτελέσματα και σχόλια

Στο σχήμα 2 παρουσιάζονται συγκριτικά οι μεταβολές του πραγματικού Συντελεστή Ψυκτικής Συμπεριφοράς **$COP_{ψ}$**, **REAL,** υπολογισμένου με τις δύο μεθόδους και στα τέσσερα καθεστώτα λειτουργίας με R134a.

Τα παραπάνω διαγράμματα δείχνουν ότι οι τιμές του **$COP_{ψ}$** των δύο μεθόδων υπολογισμού *είναι συγκρίσιμες μεταξύ τους σε σχέσεις συμπίεσης μικρότερες του 5,* όσο μεγαλώνει όμως η σχέση συμπίεσης διαφοροποιούνται σημαντικά (ειδικά στα R134a και R407c), κάτι αναμενόμενο αφού η νέα σχέση λαμβάνει υπ'όψιν της περισσότερα χαρακτηριστικά του κύκλου, αλλά και του ρευστού (R και γ) σε σύγκριση με τη σχέση του Lorenzen.



*Σχήμα 2. Μεταβολή του πραγματικού Συντελεστή Ψυκτικής Συμπεριφοράς **$COP_{ψ}$** , **REAL,** υπολογισμένου με τις δύο μεθόδους και στα τέσσερα καθεστώτα λειτουργίας (r: 3.2, 5.4, 9.1, 15.6) με R134a.*

Παρατηρώντας τη μεταβολή των τιμών του Συντελεστή Ψυκτικής Συμπεριφοράς **$COP_{ψ}$,** συναρτήσει του ισεντροπικού βαθμού συμπίεσης, τιμών υπολογισμένων με τις δύο μεθόδους *στα ακραία καθεστώτα λειτουργίας (σχήμα 3), διαπιστώνεται ομοίως ότι στις μεγάλες σχέσεις συμπίεσης οι δύο συγκρινόμενες σχέσεις απομακρύνονται σημαντικά. Εξαίρεση αποτελεί το R22, το οποίο αντίθετα με τα άλλα ρευστά παρουσιάζει σημαντικές διαφορές μεταξύ των δύο μεθόδων και στις χαμηλές σχέσεις συμπίεσης.*

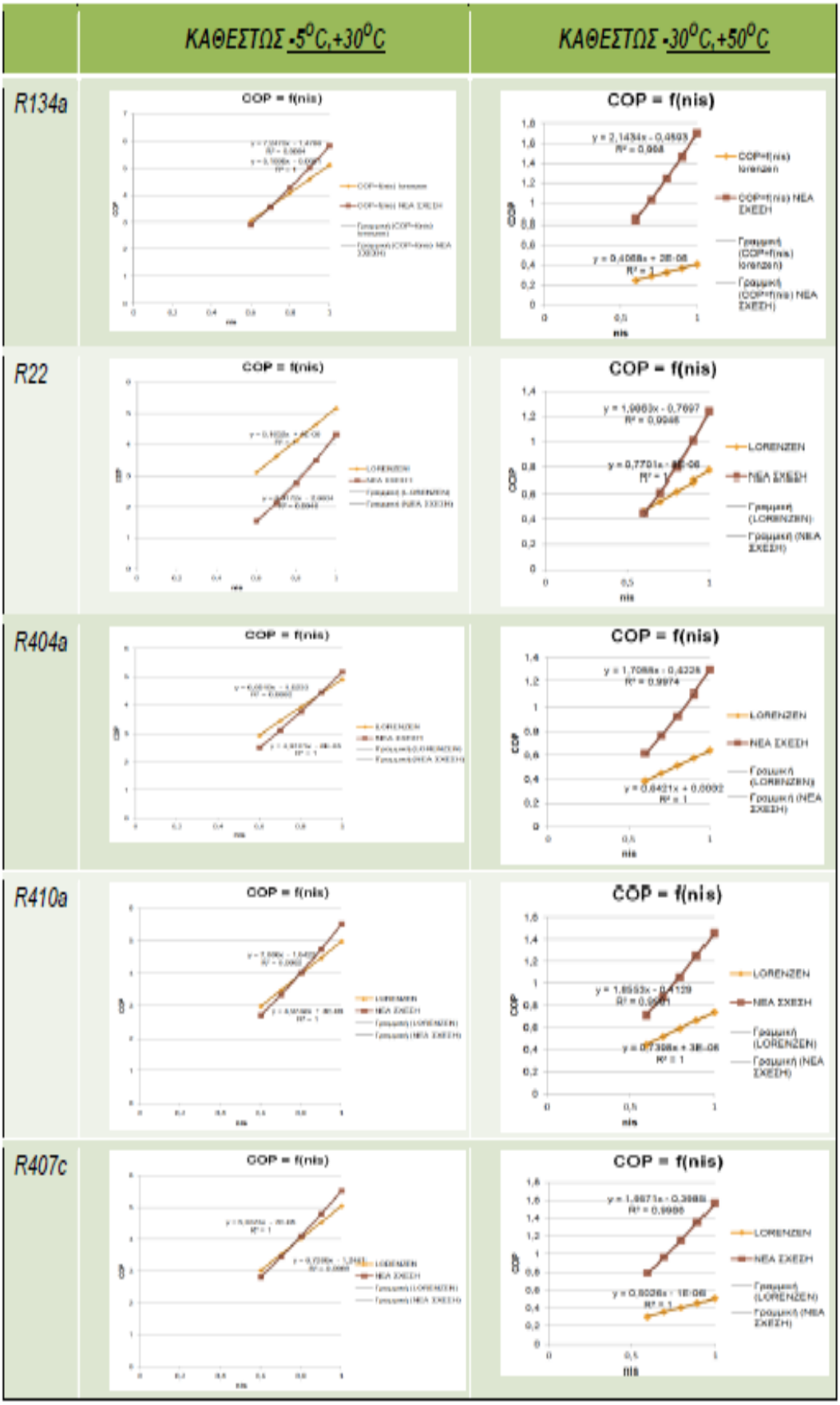
4. Συμπεράσματα

1. Ο COPψ μειώνεται με τη σχέση συμπίεσης. Οι αναλυτικοί υπολογισμοί δείχνουν ότι ο υπολογισμένος με τη νέα σχέση COPψ μειώνεται σε μικρότερο βαθμό απ' ότι ο αντίστοιχος με τη σχέση Lorentzen.

2. Ο COPψ αυξάνεται γραμμικά (με υψηλό συντελεστή συσχέτισης) με την αύξηση του ισεντροπικού βαθμού απόδοσης **n_{is}**.Ωστόσο η εκτιμούμενη τιμή απέχει από αυτή που υπολογίζεται με την σχέση Lorentzen όσο αυξάνει η σχέση συμπίεσης.

3. Για σχέσεις συμπίεσης μικρότερες του 4 οι εκτιμούμενες αναλυτικά νέες τιμές και αυτές με την σχέση Lorentzen δεν διαφέρουν σημαντικά με μόνη εξαίρεση το ψυκτικό ρευστό R22 στο οποίο οι μεγάλες διαφορές εμφανίζονται στις μικρές σχέσεις συμπίεσης.

4. Η έρευνα πρέπει να συνεχιστεί προκειμένου να καταλήξει σε μια όσο γίνεται απλή σχέση πρόβλεψης που να περιλαμβάνει τους παραπάνω μελετηθέντες παράγοντες και να επαληθευτεί πειραματικά.



Σχήμα 3. *Σύγκριση της μεταβολής του COPψ(νέα μέθοδος COPψ$_C$ και μέθοδος* Lorentzen *COPψ$_L$) με τον ισεντροπικό βαθμό απόδοσης για τα 5 ψυκτικά ρευστά και για τα ακραία καθεστώτα λειτουργίας (2,74 < r < 3,16 και 11,03 < r < 15,55).*

Βιβλιογραφία

Chen Z.J., Lin W.-H (1991): Dynamic simulation and optimal matching of a small-scale refrigeration system, International Journal of Refrigeration, 14 (1991), pp. 329–335.

Chen Z.J., Ding G.L., Wang X.F., Que X.C., (1995): Dynamic simulation and optimal matching of a small-scale refrigeration system with multi-refrigerant. IIR International Congress of Refrigeration, The Hague, Netherlands, vol. 3, pp. 262–269

Grodent M., Hannay C., Lebrun J., Winandy E. (1988): Simplified modelling of an open-type reciprocating compressor using refrigerants R22 and R410a: 2nd part: model, Proceedings of the 20th International Congress of Refrigeration IIR/IIF, Sydney, Australia.

Hermes C.J.L., Melo C., (2006): How to get the most out from a semi-empirical reciprocating compressor using a minimum set of data. IIR International Conference on Compressors and Coolants, Papiernicka, Slovak Republic.

Hermes, C.J.L., Melo, C., Goncalves, J.M., (2007): A robust modeling approach for refrigerant flow through capillary tubes. IIR International Congress of Refrigeration, Beijing, China.

Longo G. A., Gasparella A. (2003): Unsteady state analysis of the compression cycle of a hermetic reciprocating compressor, International Journal of Refrigeration 26: 681–689

Perez-Segarra C.D., Escanes F, Oliva A. (1994): Numerical study of the thermal and fluid-dynamic behaviour of reciprocating compressors. In: Proceedings of Purdue Int. Compressor Conference, 19–22 July 1994, Lafayette, IN, USA. p 145–50.

Perez-Segarra C.D, Escanes F, Rigola J, Serra J.M, Pons J, Escriba` M, JornetM. (1996) Numerical simulation of reciprocating compressors. Recent improvements and experimental validation. In: Proceedings of Purdue Int. Compressor Conference, 23–26 July 1996, Lafayette, IN, USA. p. 193–98.

Perez-Segarra C.D, Rigola J, Oliva A, Serra JM, Escriba. M, Pons J. (1998): Parametric study and experimental validation of small hermetic reciprocating compressor using a complete advanced numerical simulation model. In: Proceedings of Purdue Int. Compressor Conference, 14–17 July 1998, Lafayette, IN, USA. p. 737–42.

Popovic P, Shapiro H.N. (1995): A semi-empirical method for modeling a reciprocating compressor in refrigeration systems, ASHRAE Trans., 101 (2) (1995), pp. 367–382 Paper 3912.

Roy A., (1988): Mathematical modelling of reciprocating compressors for heat-pumps, Ph.D. Thesis, University of Aston, Birmingham, 1988.

Winandy E., Saavedra O.C., Lebrun J. (2002): Simplified modelling of an open-type reciprocating compressor, Int journal of Thermal sciences, Volume 41, Issue 2, February 2002, Pages 183–192.

Λεβέντη Α**.** και Γρ. Λαμπρινός,2009. Νέα κριτήρια και μεθοδολογία επιλογής ψυκτικών ρευστών για κλιματισμό. *6ο Εθνικό Συνέδριο Γεωργικής Μηχανικής,* Θεσ/νικη, 8–10 Οκτωβρίου 2009, σσ. 729–736.

8^{Ο} ΕΘΝΙΚΟ ΣΥΝΕΔΡΙΟ ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ

ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

ΡΥΠΑΝΣΗ ΙΖΗΜΑΤΟΣ ΜΕ ΒΑΡΕΑ ΜΕΤΑΛΛΑ ΣΤΗΝ ΑΠΟΣΤΡΑΓΓΙΣΤΙΚΗ-ΑΡΔΕΥΤΙΚΗ ΤΑΦΡΟ "ΑΣΜΑΚΙΟΥ", ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ, ΕΛΛΑΔΑ

Αυγουστίνος Αυγουστή[1], Σάββας Παπαδόπουλος[2], Ιωάννης Γράβαλος[1], Δημήτριος Κατέρης[1], Αναστάσιος Γεωργιάδης[1], Ζήσης Τσιρόπουλος[1], Παναγιώτης Ξυραδακης[1],
[1]Τμήμα Μηχανικής Βιοσυστημάτων, Σχολή Τεχνολογίας Γεωπονίας, ΤΕΙ Λάρισας, 41100 Λάρισα
avgousti@teilar.gr
[2]ΠΕΓΕΑΛ Κεντρικής Ελλάδος Νομού Λάρισας, Ιωαννίνων και Αυλώνος 41334, Λάρισα

Στην εργασία αυτή παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων για τον προσδιορισμό πέντε βαρέων μετάλλων (Cd, Cr, Pb, Ni, Cu) και της οργανικής ουσίας στο ίζημα στο τροποποιημένο υδάτινο οικοσύστημα της κεντρικής αποστραγγιστικής - αρδευτικής τάφρου του «Ασμακίου» στην Θεσσαλία και σε παρακαμπτήριες τάφρους του (αποστραγγιστικές - αρδευτικές τάφροι 8Τ, 9Τ, 1Τ), κατά τα διάρκεια δύο ετών (Ιούλιος 2011 και Ιούλιος 2012). Στην συνέχεια γίνεται σύγκριση των αποτελεσμάτων με αντίστοιχες μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στο ίδιο χρονικό διάστημα τα έτη 2008 και 2009. Όπως φαίνεται από τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων στο 60% των περιπτώσεων παρουσιάστηκε μείωση των τιμών των βαρέων μετάλλων και στο 40% αύξηση. Από τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων διαπιστώνεται ότι τα επίπεδα των βαρέων μετάλλων στο ίζημα στην αναφερόμενη περιοχή μελέτης είναι αρκετά χαμηλότερα (εκτός του Cd στον σταθμό Σ1 και του Ni στους σταθμούς Σ6,Σ9 και Σ10) από αυτά που έχουν ορισθεί από την Ευρωπαϊκή νομοθεσία για τα μέγιστα επιτρεπτά όρια χρησιμοποίησης της ιλύος στη γεωργία (Οδηγία 86/278/ΕΟΚ - επικυρώθηκε με την Κ.Υ.Α 80568/4225/1991

Λέξεις κλειδιά: Υγρότοπος, ρύπανση, βαρέα μέταλλα, ίζημα

SEDIMENT POLLUTION WITH HEAVY METALS IN DRAINAGE, IRRIGATION DITCH "ASMAKIOU", THESSALY, GREECE

Avgoustinos Avgoustis[1], Savvas Papadopoulos[2], Ioannis Gravalos[1], Dimitrios Kateris[1], Anastasios Georgiadis[1], Zisis Tsiropoulos[1], Panagiotis Xyradakis[1]
[1]Department of Biosystems Engineering, School of Agricultural Technology, TEI of Larissa, Greece
avgousti@teilar.gr
[2]PEGEAL Central Greece Prefecture of Larisa, Ioanninon and Avlonos 41334, Larissa,

This paper presents the results of chemical analyzes to identify five heavy metals (Cd, Cr, Pb, Ni, Cu) and organic matter in the sediment in modified aquatic ecosystem of central a drainage - irrigation ditch "Asmakiou" in Thessaly and Diversionary trench (drainage - irrigation ditches 8T, 9T, 1T) during the course of two years (July 2011 and July 2012). Then the results are compared with corresponding measurements made in the same period in 2008 and 2009. As shown by the results of chemical analyzes in 60% of cases presented lower prices of heavy metals and 40% growth. From the results of chemical analyzes found that the levels of heavy metals in the sediment in the reported study area is much lower (except for Cd in station S1 and Ni stations S6, S9 and S10) than those designated by the European legislation the maximum permissible limits use of sludge in agriculture (Directive 86/278/EEC - Common Minister Decision promulgated metin 80568/4225/1991.

Key words: wetland, pollution, heavy metals, sediment

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα βαρέα μέταλλα θεωρούνται από τους πιο επικίνδυνους ρύπους του περιβάλλοντος και οι ενώσεις τους, σε αντίθεση με τις οργανικές τοξικές ουσίες, δεν αποικοδομούνται αλλά παραμένουν στο περιβάλλον για μεγάλο χρονικό διάστημα. Μερικά από τα βαρέα μέταλλα όχι μόνο δεν είναι απαραίτητα για τη ζωή αλλά αντίθετα δρουν βλαβερά και επικίνδυνα στον άνθρωπο, στα ζώα και στα φυτά (Sawidis, 1997).

Ως κυριότερες πηγές ρύπανσης των υδάτων με βαρέα μέταλλα θεωρούνται τα βιομηχανικά απόβλητα, τα αστικά λύματα, οι γεωργικές δραστηριότητες, ενώ δεν αποκλείονται και οι φυσικές πηγές όπως η διάβρωση πετρωμάτων. Η ρύπανση των υδάτων μπορεί να αξιολογηθεί με την μέτρηση των βαρέων μετάλλων στο ίζημα και τους υδρόβιους οργανισμούς.

Σκοπός της εργασίας είναι να διαπιστωθεί το μέγεθος της επιβάρυνσης με βαρέα μέταλλα στο ίζημα του τροποποιημένου υδάτινου οικοσύστημα της κεντρικής αποστραγγιστικής - αρδευτικής τάφρου του «Ασμακίου» (περιοχή Θεσσαλίας) και σε παρακαμπτήριες τάφρους του (αποστραγγιστικές-αρδευτικές τάφροι 8Τ, 9Τ, 1Τ), κατά τα διάρκεια δύο ετών (Ιούλιος 2011 και Ιούλιος 2012). Γίνεται ακόμη σύγκριση των αποτελεσμάτων με αντίστοιχες μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν τα έτη 2008 και

2009, με στόχο να υποβληθούν προτάσεις στο κατά πόσο είναι δυνατό σε περίπτωση εξυγίανσης της, να χρησιμοποιηθεί η ιλύς για γεωργικούς σκοπούς.

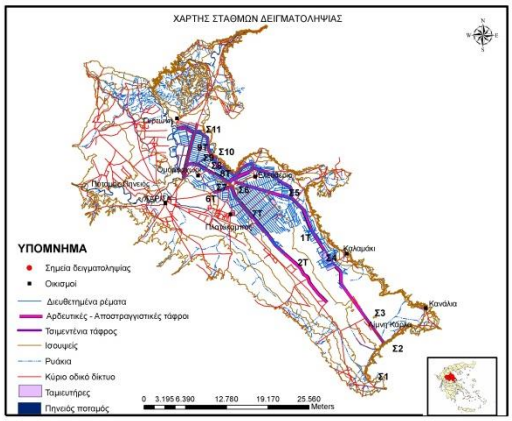
2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1 Περιοχή μελέτης

Η ευρύτερη περιοχή έρευνας εκτείνεται από την Βορειανατολική πλευρά της Λάρισας και φθάνει έως την λίμνη Κάρλα. Πρόκειται για πεδινή έκταση, στην οποία καλλιεργούνται ως επί το πλείστον μονοετείς καλλιέργειες (βαμβάκι 70%, αραβόσιτος 20% και διάφορες άλλες εποχιακές και δενδρώδεις καλλιέργειες 10% - Τ.Ο.Ε.Β. Πηνειού - προσωπική επικοινωνία).

Στην περιοχή υπάρχουν πολλές αποστραγγιστικές τάφροι και δύο τσιμεντένιες αρδευτικές διώρυγες. Η κεντρική τάφρος του Ασμακίου (8Τ), μήκους περίπου 15 Km, λειτουργεί από το 1967. Έως και το 2005 εξυπηρετούσε την άρδευση 140.000 περίπου στρεμμάτων (Εικόνα 1). Από τον Μάρτιο του 2009, το «Ασμάκι», χρησιμοποιείται και για την μεταφορά νερού στην ανασυσταθείσα λίμνη της Κάρλας.

Για τις ανάγκες αυτής της εργασίας επιλέχθηκαν συνολικά 11 δειγματοληπτικοί σταθμοί. Ένα σημείο δειγματοληψίας (Σ1) βρίσκεται εκτός τους πεδίου έρευνας και πιο συγκεκριμένα Νοτιοδυτικά της λίμνης Κάρλας, πλησίον του εργοστάσιου τσιμέντων «Ηρακλής». Οι σταθμοί δειγματοληψίας επιλέχθηκαν με βάση την τάξη του «αποστραγγιστικού – αρδευτικού δικτύου», την ύπαρξη σημειακών ή μη πηγών ρύπανσης και την ευκολία πρόσβασης. (Εικόνα 1, Πίνακας 1).



Εικόνα 1. Περιοχή έρευνα

Πίνακας 1. Οι σταθμοί δειγματοληψιών.

Α/Α	Σταθμοί	Θέση Σταθμού	Γεωγραφικό Πλάτος	Γεωγραφικό μήκος
1.	Σ1	Πλησίον εργοστασίου τσιμέντων Ηρακλής	39ο 24΄.085	22ο 46΄.951
2.	Σ2	Σήραγγα Κάρλας (1Τ)	39ο 27΄.044	22ο 48΄.608
3.	Σ3	Γέφυρα Στεφανοβικείου (1Τ)	39ο 28΄.825	22ο 46΄.816
4.	Σ4	Καλαμάκι (1Τ)	39ο 33΄.418	22ο 43΄.390
5.	Σ5	Πλασιά (Συμβολή 1Τ και 8Τ)	39ο 38΄.539	22ο 39΄.036
6	Σ6	Γέφυρα Ελευθερίου (8Τ)	39ο 39΄.756	22ο 32΄.342
7.	Σ7	Πλησίον εργοστασίου ΟΙΝΟΠΝΕΥΜΑΤΟΣ «ΧΑΤΖΗΔΗΜΑΣ» (παρακαμπτήριος 8Τ)	39ο 39΄.627	22ο 29΄.709
8.	Σ8	Πλησίον «ΠΕΛΑΣΓΙΣ Α.Ε.Β.Ε – πλυντήριο, βαφείο Υφασμάτων (παρακαμπτήριος 9Τ)	39ο 41΄.103	22ο 29΄.424
9.	Σ9	Περιοχή βιομηχανίας "INTERCOM FOODS" (παρακαμπτήριος 9Τ)	39ο 41΄.814	22ο 29΄.905
10.	Σ10	Γεντίκι 9Τ	39ο 42΄.289	22ο 29΄.987
11.	Σ11	Πλησίον σφαγείου Γυρτώνης (9Τ)	39ο 44΄.288	22ο 28΄.226

2.2. Μεθοδολογία

Οι δειγματοληψίες για τον προσδιορισμό των βαρέων μετάλλων πραγματοποιήθηκαν δύο φορές κατά την διάρκεια δύο ετών (29/072011 – 29/072012). Από κάθε δειγματοληπτικό σταθμό λήφθηκαν συνολικά τρία υποδείγματα κατ' έτος τα οποία αναμείχθηκαν. Κατά την διάρκεια των δειγματοληψιών υπήρχε (σε αντίθεση με τα έτη 2008 και 2009) μεγάλη ροή νερού, ενώ σε πάρα πολλά σημεία υπήρχαν έντονα στοιχεία θερμικής διαστρωμάτωσης, αφού ως γνωστό το «Ασμάκι», έχει την ιδιαιτερότητα να αποτελεί ταυτόχρονα ποτάμιο και λιμναίο οικοσύστημα.

Για τον προσδιορισμό των βαρέων μετάλλων συλλέχτηκε ποσότητα 100 - 200 g επιφανειακού ιζήματος (μέχρι βάθους 5 cm) και επί τόπου αφαιρέθηκαν οι μεγάλες πέτρες και τα ξένα σώματα. Ακολούθησε αεροξήρανση των δειγμάτων στο εργαστήριο με περιοδική ανακίνηση μέχρι σταθερού βάρους (48 περίπου ώρες) και τελικό ποσοστό υγρασίας 0 - 7%. Μετά την αεροξήρανση ακολούθησε ξήρανση σε κλίβανο στους 40 ^{o}C μέχρι σταθερού βάρους (Bates T., 1993). Στα ξηρά δείγματα ακολούθησε λειοτρίβηση και κοσκίνιση με κόσκινο βρογχίδας 2 mm^2. Προδιαγραφές προετοιμασίας δειγμάτων ιζήματος ορίζονται στο ASTM C 999 (1983). Τα δείγματα τοποθετήθηκαν σε δοχεία πολυαιθυλενίου και φυλάσσονταν σε ξηραντήρα σε σκιερό μέρος.

Οι αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν στα εργαστήρια του Π.Ε.Γ.Ε.Α.Λ. (Περιφερειακό Εργαστήριο Γεωργικών Εφαρμογών και Αναλύσεως

Λιπασμάτων). Το εργαστήριο εφαρμόζει σύστημα ποιότητας κατά ISO 17025: Για τον προσδιορισμό των μετάλλων χρησιμοποιήθηκε μέθοδος η οποία βασίζεται στη κατεργασία του δείγματος με 4M HNO_3 (Sporito et al., 1982). Χρησιμοποιήθηκαν 2 g δείγματος ιλύος που τοποθετήθηκαν σε σωλήνες φυγοκέντρησης των 50 mℓ με πώμα (τύπου falcon) και προστέθηκαν 12,5 mℓ HNO_3 4M. Οι φιάλες πωματίστηκαν και ανακινήθηκαν ελαφρά. Στη συνέχεια οι σωλήνες τοποθετήθηκαν σε φούρνο για 16 ώρες σε θερμοκρασία 80 ^oC. Τα ολικά μέταλλα Cd, Cr, Pb, Ni και Cu, προσδιορίστηκαν στην ατομική απορρόφηση (VARIAN 220 FS). Προσδιορίστηκε ακόμη η οργανική ουσία με την μέθοδο Walkley & Black.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Όπως φαίνεται στον Πίνακα 2, οι συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων στο ίζημα ήταν σημαντικά χαμηλότερες από τις οριακές τιμές για χρησιμοποίηση της ιλύος στη γεωργία, σύμφωνα με την οδηγία 86/278/ΕΟΚ η οποία επικυρώθηκε με την Υ.Π. 80568/4225/7-8-91. Εξαίρεση αποτελούν οι συγκέντρωσες του Cd και Ni. Οι τιμές του Cd παρουσιάστηκαν πιο αυξημένες στον σταθμό Σ1 και του Ni στους σταθμούς Σ6, Σ9, και Σ10. Η μικρή συγκέντρωση είναι σε πολύ μεγάλο βαθμό φυσιολογική δεδομένου ότι στην περιοχή δεν λειτουργούν μεγάλες βιομηχανίες των οποίων τα απόβλητα να περιέχουν σημαντικές συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων, κάτι που σημαίνει ότι η προέλευση τους είναι από το έδαφος (Φλωράς 1997). Σε ότι αφορά την σύγκριση των αποτελεσμάτων κατά τις δύο περιόδους (2011-2012 σε σύγκριση με την περίοδο 2008-2009), παρουσιάστηκε μείωσε των τιμών σε ποσοστό 60% (Πίνακες 2 και 3).

Πίνακας 2. Μετρηθείσες τιμές πέντε βασικών βαρέων μετάλλων σε ίζημα, (mg/kg) (έτη 2011 και 2012).

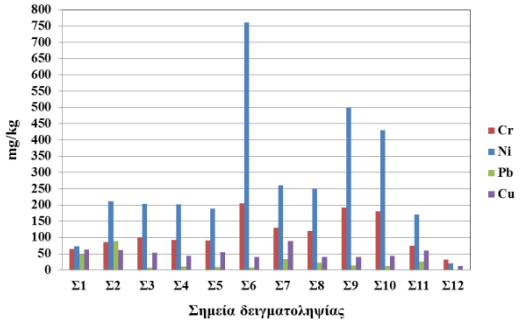
Σταθμοί	Cd/ έτος		Cr/ έτος		Pb/ έτος		Ni/ έτος		Cu/ έτος	
	2011	2012	2011	2012	2011	2012	2011	2012	2011	2012
Σ1	0,76+	0,78+	64,1	64,1	49,1+	48,1+	73,1	79,1	63,0+	60,0+
Σ2	0,00	0,00	85,8	85,8	9,1	9,2	211,4+	218,4+	62,0+	67,0+
Σ3	0,00	0,00	101,2	102,2	8,0	8,6	203,2+	203,2+	53,9+	54,9+
Σ4	0,00	0,00	92,9	92,9	10,4	11,6	201,8+	205,8+	43,1+	48,1+
Σ5	0,00	0,00	91,0+	95,0+	10,1	12,1	189,1	195,1	54,6+	50,6+
Σ6	0,00	0,00	204,8+	202,8+	7,4	7,4	760,8+	769,8+	40,3+	42,3+
Σ7	0,11	0,13	130,4+	135,4+	33,8	31,8	260,3+	271,3+	89,3	199,3
Σ8	0,00	0,00	120,4	122,4	22,3+	24,3+	250,3+	255,3+	40,9	42,9
Σ9	0,00	0,00	191,7+	193,7+	14,7+	12,7+	500,2+	505,2+	40,0	43,0
Σ10	0,00	0,00	180,1+	181,1+	12,1	12,1	430,4+	451,4+	43,0	45,0
Σ11	0,10	0,09	74,4	79,4	26,4+	29,4+	171,4	179,4	59,4+	57,4+

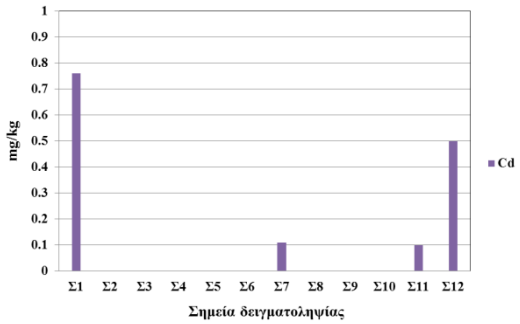
Πίνακας 3. Μετρηθείσες τιμές πέντε βασικών βαρέων μετάλλων σε ίζημα, (mg/kg) (έτη 2008 και 2009).

Σταθμοί	Cd/ Έτος		Cr/ Έτος		Pb/ Έτος		Ni/ Έτος		Cu/ Έτος	
	2008	2009	2008	2009	2008	2009	2008	2009	2008	2009
Σ1	0,16	0,18	155	158	14	14	150	152	35,0	36,0
Σ2	0,14	0,13	98	100	11	10	200	201	40,0	40,0
Σ3	0,4	0,5	111	120	12	13	153	158	46,0	46,0
Σ4	0,12	0,15	126	129	14	15	190	191	43,0	45,0
Σ5	0,05	0,05	131	131	14	14	213	219	47,0	48,0
Σ6	0,12	0,13	106	110	11	13	220	223	36,0	37,0
Σ7	0,50	0,54	120	124	58	69	230	232	426,0	430,0
Σ8	0,11	0,11	130	131	11	12	241	242	42,0	44,0
Σ9	0,12	0,11	140	141	12	14	247	249	45,0	47,0
Σ10	0,14	0,13	122	126	16	17	228	230	69,0	71,0
Σ11	0,12	0,18	106	158	18	14	207	152	47,0	36,0

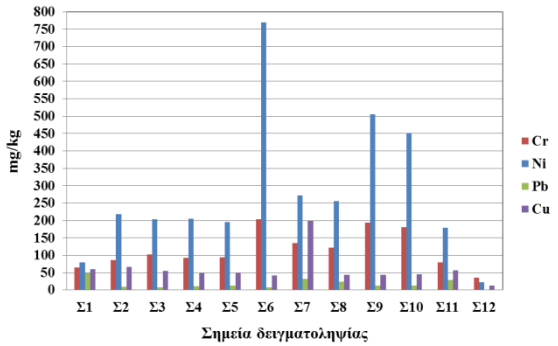
Πίνακας 4. Η Οργανική ουσία (%) στους 11 δειγματοληπτικούς σταθμούς

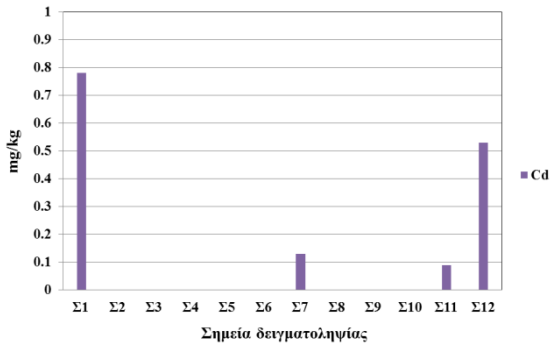
Σταθμοί	Οργανική ουσία (%) - έτος 2009	Οργανική ουσία (%) - έτος 2012	Διαφορά (%)
Σ1	0,8	4,5	+460%
Σ2	0,5	1,2	140%
Σ3	7,3	8,8	+20,5%
Σ4	1,1	1,3	+18%
Σ5	1,1	1,5	37%
Σ6	4,4	0,9	11,5%
Σ7	6,4	4,0	-37,5%
Σ8	1,1	3,4	+209%
Σ9	4,9	6,4	+31%
Σ10	8,0	6,8	-15%
Σ11	3,0	5,2	+73%



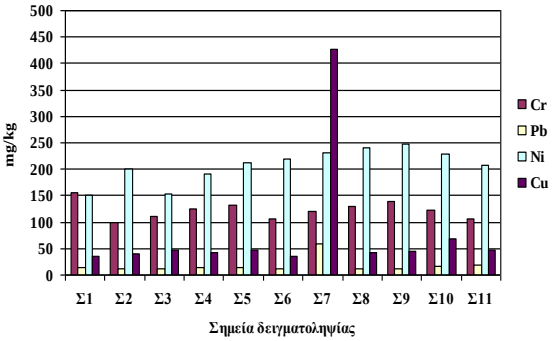


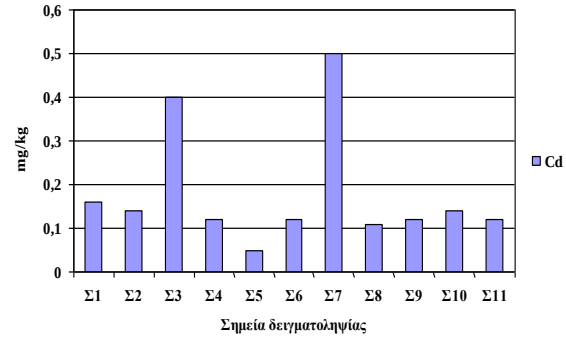
Γράφημα 1. Μετρηθείσες τιμές πέντε βασικών βαρέων μετάλλων σε ίζημα (mg/kg) (έτος 2011).



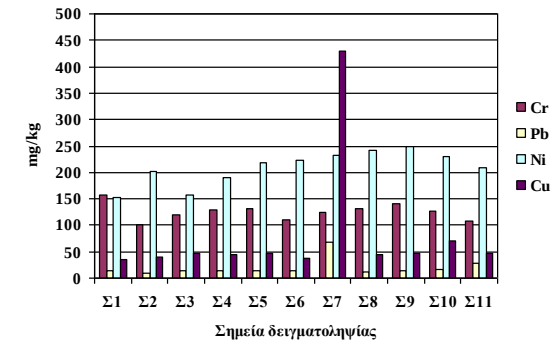


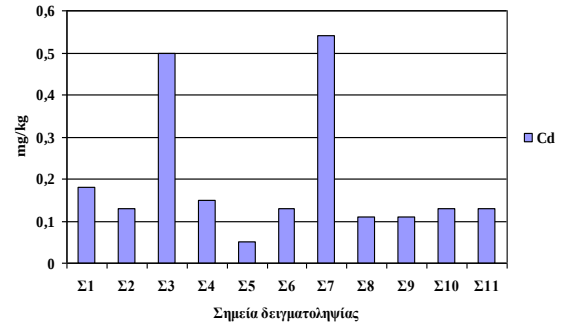
Γράφημα 2. Μετρηθείσες τιμές πέντε βασικών βαρέων μετάλλων σε ίζημα (mg/kg) (έτος 2012).





Γράφημα 3. Μετρηθείσες τιμές πέντε βασικών βαρέων μετάλλων σε ίζημα (mg/kg) (έτος 2008).





Γράφημα 4. Μετρηθείσες τιμές πέντε βασικών βαρέων μετάλλων σε ίζημα (mg/kg) (έτος 2009).

Πίνακας 5. Οριακές τιμές βαρέων μετάλλων σε ιλύ και έδαφος (Οδηγία 86/278/ΕΟΚ)

Α/Α	Παράμετρος	Οριακή τιμή ιλυς που χρησιμοποιείται στη	Οριακή τιμή για έδαφος Ν.2950/01
1.	Χαλκός (Cu)	1000-1750	50-100
2.	Κάδμιο (Cd)	20-40	-
3.	Μόλυβδος ()	750-1200	50-300
4.	Νικέλιο (Ni)	300-400	30-75
5.	Υδράργυρος (Hg)	16-25	-
6.	Αρσενικό (As)		-
7.	Ψευδάργυρος (Zn)	2500-4000	160-300

Παρατήρηση: Με την ΚΥΑ 80568/4225/91 ενσωματώθηκε στην Ελληνική νομοθεσία η Οδηγία 86/278/ΕΟΚ, χωρίς τροποποιήσεις. Έχει γίνει μόνο προσθήκη ορίων για το χρώμιο: 500 mg/kg ξηράς ουσίας για το Cr(III) και 10 mg/kg ξηρού για το Cr(VI).

Στο σταθμό Σ7 (πλησίον εργοστασίου παραγωγής οινοπνεύματος) παρατηρήθηκε πολύ μικρότερη συγκέντρωση Cu, κάτι που δικαιολογείται πλήρως, αφού εδώ και τρία χρόνια το εργοστάσιο έχει διακόψει την λειτουργία του. Η παρουσία Cu σχετίζεται με το πρόσθετο $CuSO_4.5HO_5$, που χρησιμοποιείται για την παραγωγή οινοπνεύματος. Στο σταθμό αυτό σημειώθηκε σημαντική μείωση και της οργανικής ουσίας κατά 37,5%. Μικρή μείωση του ποσοστού οργανικής ουσίας παρουσιάσθηκε και στο σταθμό Σ10 (15%) (η οργανική ουσία είναι από τους κύριους παράγοντες ισχυρής συγκράτησης των στοιχείων στο έδαφος, επειδή σχηματίζει σταθερές διαλυτές και αδιάλυτες ενώσεις (Adriano, 1986). Η αύξηση του ποσοστού της οργανικής ουσίας εκτιμάται ότι οφείλεται στην αυξημένη βροχόπτωση την χρονική περίοδο από τον Ιούλιο του 2009 έως και τον Ιούλιο του 2012, η οποία σύμφωνα με στοιχεία του Μετεωρολογικού σταθμού ΑΤΑ Λάρισας ήταν 1429 mm., σε σχέση με 897 mm. την αντίστοιχη χρονική περίοδο μεταξύ 2007 έως 2009. Ακόμα μπορεί να οφείλεται και στην αυξημένη ροή νερού.

Σημειώνεται πως η απευθείας εφαρμογή της ιλύος στο έδαφος υπόκειται στους περιορισμούς της ΚΥΑ 80568/4225/91. Απαραίτητη προϋπόθεση αποτελεί ο προσδιορισμός της συγκέντρωσης των βαρέων μετάλλων στο έδαφος.

3.1. ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Η Στατιστική Ανάλυση έγινε με τη χρήση του στατιστικού πακέτου Minitab (Κουτρουβέλης 1999)

Πίνακας 6. Ανά έτος στο σύνολο των έντεκα σταθμών (cd)

Variable	Mean	StDev	Variance	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum	Range	IQR
2008	0,180	0,1381	0,0191	0,0500	0,12	0,1200	0,1600	0,5000	0,4500	0,0400
2009	0,1964	0,1633	0,0267	0,0500	0,11	0,1300	0,1800	0,5400	0,4900	0,0700
2011	0,0882	0,2268	0,0514	0,0000	0,00	0,0000	0,1000	0,7600	0,7600	0,1000
2012	0,0909	0,2329	0,0542	0,0000	0,00	0,0000	0,0900	0,7800	0,7800	0,0900

Η τιμή της τυπικής απόκλισης StDev είναι μικρή οπότε η μέση τιμή Mean αποτελεί αντιπροσωπευτικό στατιστικό μέτρο για την κατανομή της μεταβλητής .

Το 50% των παρατηρήσεων απέχει από την διάμεσο Median (+,-) IQR .

Το 25% των παρατηρήσεων είναι κάτω από Q1 .

Το 75% των παρατηρήσεων είναι κάτω από Q3 .

Πίνακας 7. Ανά έτος στο σύνολο των έντεκα σταθμών (cr)

Variable	Mean	StDev	Variance	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum	Range	IQR
2008	122,27	16,69	278,62	98,00	106,00	122,00	131,00	155,00	57,00	25,00
2009	125,27	16,12	259,82	100,00	110,00	126,00	131,00	158,00	58,00	21,00
2011	121,5	49,3	2432,9	64,1	85,8	101,2	180,1	204,8	140,7	94,3
2012	123,2	48,8	2377,3	64,1	85,8	102,2	181,1	202,8	138,7	95,3

Η τιμή της τυπικής απόκλισης StDev παρουσιάζει μεγάλες τιμές για τα έτη 2011 &2012 καθώς παρατηρείται μεγάλο εύρος Range .

Το 50% των παρατηρήσεων απέχει από την διάμεσο Median (+,-) IQR .

Το 25% των παρατηρήσεων είναι κάτω από Q1 .

Το 75% των παρατηρήσεων είναι κάτω από Q3 .

Πίνακας 8. Ανά έτος στο σύνολο των έντεκα σταθμών (Pd)

Variable	Mean	StDev	Variance	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum	Range	IQR
2008	17,36	13,66	186,65	11,00	11,00	14,00	16,00	58,00	47,00	5,00
2009	20,00	16,99	288,60	10,00	13,00	14,00	17,00	69,00	59,00	4,00
2011	18,49	13,27	176,07	7,40	9,10	12,10	26,40	49,10	41,70	17,30
2012	18,85	12,94	167,51	7,40	9,20	12,10	29,40	48,10	40,70	20,20

Η τιμή της τυπικής απόκλισης StDev είναι μικρή οπότε η μέση τιμή Mean αποτελεί αντιπροσωπευτικό στατιστικό μέτρο για την κατανομή της μεταβλητής .

Το 50% των παρατηρήσεων απέχει από την διάμεσο Median (+,-) IQR .
Το 25% των παρατηρήσεων είναι κάτω από Q1 .
Το 75% των παρατηρήσεων είναι κάτω από Q3 .

Πίνακας 9. Ανά έτος στο σύνολο των έντεκα σταθμών (Ni)

Variable	Mean	StDev	Variance	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum	Range	IQR
2008	207,18	32,30	1043,36	150,00	190,00	213,00	230,00	247,00	97,00	40,00
2009	209,55	31,92	1019,07	152,00	191,00	219,00	232,00	249,00	97,00	41,00
2011	295,6	195,0	38044,1	73,1	189,1	211,4	430,4	760,8	687,7	241,3
2012	303,1	196,9	38770,5	79,1	195,1	218,4	451,4	769,8	690,7	256,3

Η τιμή της τυπικής απόκλισης StDev παρουσιάζει μεγάλες τιμές για τα έτη 2011 &2012 καθώς παρατηρείται μεγάλο εύρος Range .
Το 50% των παρατηρήσεων απέχει από την διάμεσο Median (+,-) IQR .
Το 25% των παρατηρήσεων είναι κάτω από Q1 .
Το 75% των παρατηρήσεων είναι κάτω από Q3 .

Πίνα κας 10. Ανά έτος στο σύνολο των έντεκα σταθμών (Cu)

Variable	Mean	StDev	Variance	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum	Range	IQR
2008	79,6	115,2	13276,9	35,0	40,0	45,0	47,0	426,0	391,0	7,0
2009	81,1	116,1	13476,7	36,0	40,0	46,0	48,0	430,0	394,0	8,0
2011	53,59	14,88	221,39	40,00	40,90	53,90	62,00	89,30	49,30	21,10
2012	64,6	45,4	2060,4	42,3	43,0	50,6	60,0	199,3	157,0	17,0

Η τιμή της τυπικής απόκλισης StDev παρουσιάζει μεγάλες τιμές και ειδικά για τα έτη 2008 &2009 καθώς παρατηρείται μεγάλο εύρος Range .
Το 50% των παρατηρήσεων απέχει από την διάμεσο Median (+,-) IQR .
Το 25% των παρατηρήσεων είναι κάτω από Q1 .
Το 75% των παρατηρήσεων είναι κάτω από Q3 .

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Andriano, D. G., 1986. Trace Elements in Terrestrial Environments. Springer Verleg -New York, Berlin, Tokyo.

Bates, T., 1993. *Soil Hadling and Prepatation*, pp. 19-24.

Sawidis, T. (1997c). *Accumulation and effects of heavy metals in Lilium pollen* Proc. Int. Symp. on pollination. Acta Hort. 437: 153-157.

Spozito, G. L., Land J. and, Chang, A. C., 1982. *Trace metal Chemistry in acid-zone Field soils Amented with sewage studge. I. Gractionation of Ni, Cu, Zn, cd ahn Pd in solid phases,* Soil Sci. Soc. Am. J 46: 260-264.

Walkley A., Black I.A. (1934). An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Science, 3, 29–37.

Welsh, P. and Denny, P., 1980. *Waterplants and recycling of heavy metals in an English lake, in D.D. Hemphill (Ed.),* Trace substances in Environmental HealthX, Univ. Missouri, Columbia, p.p.217-223.

Κουτρουβέλης Ι. (1999) Βασικά εργαλεία και μέθοδοι για τον έλεγχο της ποιότητας. Τόμος Α. Πιθανότητες και στατιστική Ι. Μεταπτυχιακό πρόγραμμα Διασφάλιση Ποιότητας, σελ. 147-161.

Φλωράς Σ., Σγούρας Ι., Πατέρας Δ., Ζέρβα-Καπετανάκη Γ., Μακρίδης Χ. (1997) Εδαφολογική μελέτη του Ν.Α. τμήματος Ζώνης 2 έργων εκτροπής του Αχελώου ποταμού (ευρύτερης περιοχής αποξηρανθείσας λίμνης Κάρλας). Εθνικό Ίδρυμα Αγροτικής Έρευνας (ΕΘ.Α.Γ.Ε.) Ινστιτούτο Χαρτογράφησης Εδαφών (Ι.Χ.Τ.Ε.Λ.), σελ. 108.

Οδηγία 86/278/ΕΟΚ

ISO 17025

ΚΥΑ 80568/4225/91 ενσωματώθηκε στην Ελληνική νομοθεσία η Οδηγία 86/278/ΕΟΚ,

ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΜΕΙΩΣΗ ΑΕΡΙΩΝ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ ΑΠΟ ΣΥΜΒΑΤΙΚΟΥΣ ΣΕ ΒΙΟΛΟΓΙΚΟΥΣ ΕΛΑΙΩΝΕΣ ΚΑΙ ΑΜΠΕΛΩΝΕΣ

Αθανάσιος Μπαλαφούτης[1], Δημήτριος Μπριασούλης[2], Παναγιώτης Παναγάκης[2], Γεώργιος Παπαδάκης[1]

[1]Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων & Γεωργικής Μηχανικής, Ιερά Οδός 75, 11855, Αθήνα

[2] Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων & Γεωργικής Μηχανικής, Ιερά Οδός 75, 11855, Αθήνα

abalafoutis@aua.gr, briassou@aua.gr, ppap@aua.gr, gpap@aua.gr

Τα παραδοσιακά συστήματα καλλιέργειας, στοχεύοντας σε αποδεκτό εισόδημα για το γεωργό, βασίζονται στην επίτευξη υψηλής παραγωγής με χρήση πολλών εισροών. Σήμερα, η γεωργία αλλάζει κατεύθυνση προς την εφαρμογή ελάχιστων εισροών για μέγιστη δυνατή παραγωγή. Παράδειγμα γεωργικής πρακτικής βασισμένης σε αυτή τη λογική είναι η βιολογική γεωργία, η οποία οδηγεί σε χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας ανά μονάδα επιφάνειας γης, όμως επιφυλάσσει τον κίνδυνο σημαντικής ελάττωσης της συνολικής παγκόσμιας παραγωγής. Ως εκ τούτου, είναι πολύ σημαντικό να εξεταστεί η ενεργειακή αποδοτικότητα, δηλαδή η ελάχιστη κατανάλωση ενέργειας ανά μονάδα παραγόμενου προϊόντος. Οι ελαιώνες και οι αμπελώνες, είναι δύο σημαντικές πολυετείς καλλιέργειες για την ελληνική γεωργία. Στην παρούσα εργασία ένας ελαιώνας και ένας αμπελώνας στην περιοχή της Στερεάς Ελλάδας μελετήθηκαν όσον αφορά την ενεργειακή αποδοτικότητα και τις αντίστοιχες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, με σκοπό τη σύγκριση της παραδοσιακής καλλιέργειας με το εναλλακτικό βιολογικό σύστημα καλλιέργειας. Στην περίπτωση του ελαιώνα, η βιολογική γεωργία παρουσιάζεται να ελαττώνει την κατανάλωση ενέργειας κατά 13.9%, καθώς τα χημικά λιπάσματα και τα φυτοφάρμακα έχουν αντικατασταθεί από εισροές μικρότερης ενεργειακής απαίτησης για την παραγωγή τους, ενώ η αντίστοιχη τελική παραγωγή μειώνεται λιγότερο (5%). Όσον αφορά τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, μειώνονται κατά 37.8%. Στην περίπτωση του αμπελώνα, η βιολογική γεωργία ελάπτωσε σημαντικά την παραγωγή (31%) και τελικά επηρέασε αρνητικά την ενεργειακή αποδοτικότητα κατά 0.4%. Οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου του αμπελώνα ελαττώθηκαν κατά 6.7%.

Λέξεις κλειδιά: ελαιώνας, αμπελώνας, ενέργεια, αέρια του θερμοκηπίου, ενεργειακή αποδοτικότητα

ENERGY EFFICIENCY ENHANCEMENT AND GREENHOUSE GAS EMISSIONS REDUCTION FROM TRADITIONAL TO ORGANIC OLIVE GROVE AND VINEYARD CULTIVATIONS

Athanasios Balafoutis[1], Demetres Briassoulis[2], Panagiotis Panagakis[2], George Papadakis[1]

[1]Laboratory of Agricultural Mechanization, Agricultural University of Athens, Department of Natural Resources Management and Agricultural Engineering, Iera Odos 75, 11855, Athens

[2] Laboratory of Farm Structures, Agricultural University of Athens, Department of Natural Resources Management and Agricultural Engineering, Iera Odos 75, 11855, Athens

abalafoutis@aua.gr, briassou@aua.gr, ppap@aua.gr, gpap@aua.gr

Traditional farming systems are based on achieving high yields using high input aiming at an acceptable income for the farmer. Today, agriculture shifts towards applying the minimal needed inputs for acceptable production. Organic farming is an agricultural practice based on this mentality and results to lower energy consumption per unit of land. However, such systems hold the risk of a significant reduction of the total global production. Therefore, it is vital to consider the energy efficiency, namely the energy consumption per unit of product quantity. Olive groves and vineyards are two important perennial crops for Greek agriculture. In this paper an olive grove and a vineyard, both located in the Sterea Ellada region, were studied in terms of energy efficiency and associated greenhouse gases emissions (GHG), in order to compare traditional farming vs. organic farming. In the case of olive groves, organic farming reduces energy consumption by 13.9%, as chemical fertilizers and pesticides are replaced by less energy demanding inflows, while the final yield is reduced by 5%. GHG emissions are reduced by 37.8%. In the case of the vineyard, organic farming significantly reduced crop yield (31%) with a negative result on energy efficiency (0.4%). However, GHG are reduced by 6.7%.

Keywords: olive grove, vineyard, energy, greenhouse gases, energy efficiency

1. INTRODUCTION

Since green revolution in agriculture was established, farmers targeted high yields without considering the amount of inputs used during the cultivation period. Their only consideration was the impact of these inputs on the final profit of the farm.

However, this practice has been the subject of strong questioning the last two decades as the negative environmental and public health impacts of such farming systems are very high. Under the consideration of these impacts, new farming systems have been adopted. Among them, integrated farming not associated with significant yield reduction, reduces input quantities to the lowest possible level. Also, organic farming, associated with lower yield and better quality, does not permit use of agrochemicals such as chemical fertilizers and pesticides.

Organic farming seems to be an ideal farming system on a land area basis (lower energy consumption per unit area of land), but this is not the case on a yield basis. In a global perspective it has

the risk of significant reduction of total agricultural production. Hence, as a key comparison term affecting the overall efficiency of crop farming systems, it is vital to consider energy efficiency, namely the energy consumption per unit of product.

Olive groves and vineyards are two important perennial crops for Greek agriculture. In general, these crops are cultivated using traditional methods. Organic farming is not widely applied yet as farmers believe that high chemical inputs ensure high yields and profits. However, there is a tendency for organic farming to increase as a result of higher product prices, especially for high quality exported certified olive-oil and wines, and environmental awareness. In addition, organic farming could help to conserve water in Greece, as in arid and semiarid areas (Altieri, 1992), and reduce GHG emissions (Dalgaard et al, 2001).

In this work the traditional farming of an olive grove and a vineyard located in the Sterea Ellada region was compared against the respective organic farming in terms of energy efficiency and respective GHG emissions.

2. MATERIALS & METHODS

2.1. System Boundaries

An olive grove and a vineyard are studied in terms of inputs regarding the production of the primary product of each crop (olives and grapes, respectively) up to the farm gate (Figure 1).

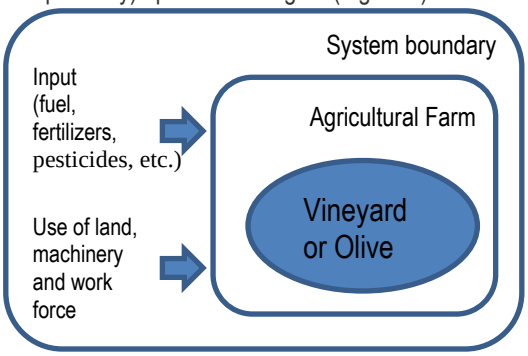


Figure 1: System boundary of energy and environmental assessments

2.2. Olive Grove

2.2.1. Traditional olive grove

The traditional olive grove data are taken from the diary of a farmer in Lamia, Sterea Ellada. The olive grove has a mean plant density of 250 plants/ha (6 x 6 m). The olive grove life time was assumed to be 100 years, with the first 15 years counting as installation period with low yield.

The olive grove installation is initiated with several operations for the soil preparation (deep ploughing, heavy cultivator, light cultivator), followed by a fertilization using 5.5 kg/ha/yr N, 7.5 kg/ha/yr P and 7.5 kg/ha/yr K. Soil is marked and holes are open for the olive trees. These operations are considered for the first year of installation.

The first 15 years, olive trees of the case under consideration are sprayed with insecticides (dimethoate or fenthion) 2-4 times/yr. Weed control is obtained using light cultivator 4 times/yr. Three to five irrigation applications using drip irrigation systems are applied (total water quantity 120 m^3/ha/yr). Fertilization is applied every second year using 11-15-15 fertilizer type. The quantity required is 0.2 kg/tree for every year of the tree growth.

During the regular period (next 85 years), olive grove cultivation techniques are mainly related to weed control, fertilisation, irrigation, pruning, crop protection against pests and diseases, and harvesting. The olive grove is sprayed with insecticides (dimethoate or fenthion) 2-4 times/yr. For weed control, 3 light cultivations per year are applied, without chemical applications. Three applications of fertilizer are executed in this particular case every second year (3 kg/tree). Every year, one to three irrigation applications using drip irrigation systems are applied (total water quantity 1800 m^3/ha/yr).

Harvesting occurs from mid-November to late December (the first 15 years the mean yield is about2.5 t/ha/yr, while during the regular production period it reaches 6.5 t/ha/yr). Plastic olive mats are used for olives harvesting. The olive mats' fabric is woven PP cloth (100 g/m^2) with a minimum life span of 5 years. They are moved from tree to tree in order to collect the olives harvested from each tree. The average olive mat surface is 50 m^2, in order to cover a surface larger than the canopy area of the tree harvested.

2.2.2. Organic olive grove

The organic olive grove results in 29% fuel consumption increase (Genitsariotis et al., 2000; Kaltsas et al., 2007). In the organic system, manure is spread using a trailed manure spreader (20 t/ha every second year). Then, one cultivation application is applied, followed by the sowing process for the installation of legumes (green manure of *Trifolium sp*. or *Vicia sativa*). Sowing requires 135 kg seed/ha/yr. Finally, light cultivation is applied to incorporate the legumes at the end of their cycle (Kaltsas et al., 2007).

In addition, no chemical pesticides are applied, replaced by bait [Elcophon (plastic bottle)] or bait-pheromone [BIORYL (paper envelope)] and traps for the olive fruit fly (Genitsariotis et al., 2000; Kaltsas et al, 2007). The chemical fertilizers are substituted by sheep/goat manure that is spread in the olive grove using a manure spreader, as mentioned above. The rest of agricultural practices are the same as in the traditional system. The average yield is reduced by 35% mainly due to lower fertilizer inputs (Genitsariotis et al., 2000; Kaltsas et al., 2007; Guzman and Alonso, 2008).

2.3. Vineyard

2.3.1. Traditional vineyard

The traditional vineyard data set was given from a farmer in Lamia, Sterea Ellada. This basic scenario is a vineyard with mean plant density of 3000 plants/ha, planted at 2.7 x 1.2 m. The vineyard life time was assumed to be 20 years, with the first 4 years counting as installation period of low yield.

The vineyard installation is initiated with several operations for the soil preparation (deep ploughing, heavy cultivator, light cultivator), followed by a fertilization using 30 kg/ha N, 40 kg/ha P and 40 kg/ha K. The plot is marked and holes are opened for the vines. A system of metal poles is installed. These operations are considered for the first year of installation.

During the first period of vine trees growing, the vineyards are sprayed with *Bacillus thuringiensis*, sulphur, copper, Topsin M (thiophanate methyl 97% w/w), dithane M-45 (mancozeb 72% w/w), thiodan (endosulfan 47% w/w). For weed control, the soil is cultivated with light cultivator and sprayed with Glyphosate (36% v/v). Two irrigation applications using drip irrigation systems are applied (total water quantity 1600 m^3/ha/yr). Fertilization (fertigation) is applied together with the irrigation with 30 kg/ha/yr N, 40 kg/ha/yr P and 40 kg/ha/yr K.

After the fourth year, the vineyard reaches the regular production. During the regular period vineyard cultivation techniques are mainly related with weed control, fertilisation, irrigation, pruning, thinning fruits, crop protection against pests and diseases, and harvesting. The vineyards are sprayed with *Bacillus thuringiensis*, sulphur, copper, Topsin M (thiophanate methyl 97% w/w), dithane M-45 (mancozeb 72% w/w), thiodan (endosulfan 47% w/w). For weed control, the soil is cultivated with light cultivator and sprayed with Glyphosate (36% v/v). Every year, one to two irrigation applications using drip irrigation systems are applied (total water quantity 800 m^3/ha/yr). Fertilization is applied together with irrigation with approximately 55 kg/ha/yr N, 75 kg/ha/yr P and 75 kg/ha/yr K.

Harvest is executed by the end of September manually (during the first 4 years the mean yield of grapes is 4 t/ha/yr, while the next 15 years is 14.7 t/ha/yr).

2.3.2. Organic vineyard

Organic farming in the vineyard reduces fuel consumption by 20%, because several agricultural practices of the conventional farming are not applied (Kavargiris et al, 2009). No chemical pesticides are applied. Allowed fungicides (copper and sulfur) are applied, but 34% less than in the traditional farming system (Kavargiris et al, 2009). In addition, fertilizer application is reduced by 45.7% (Kavargiris et al, 2009). All the rest of the agricultural practices are the same as in the traditional system. The average yield is reduced by 31% due to lower inputs and higher disease and pest impact on the crop (Kavargiris et al, 2009).

2.4. Methodology

2.4.1. Inventory

A spreadsheet was prepared with an inventory of all the inputs in both the olive grove (Table 1) and the vineyard (Table 2).

Table 1. Inventory of the olive grove

Input	Unit	Period (install)	Period (oper)
Plants		250	
Fertilizers (synthetic)			
Nitrogen	kg/ha/yr	23.5	41.7
Phosphorus	kg/ha/yr	32	55.6
Potassium	kg/ha/yr	32	55.6
Pesticides			
Herbicides	kg ai/ha/yr	3	4
Fungicides	kg ai/ha/yr	0	0
Insecticides	kg ai/ha/yr	2.5	3.5
Irrigation			
Electricity use	kWh/ha/yr	66	99
Field operations			
Diesel use	l/ha/yr	36	22.5
Olive mats	kg/ha/yr	2.75	2.75

It must be pointed out that installation period corresponds to the period after initial planting until the year of regular production yields (15 years for the olive grove and 4 years for the vineyard) and the operation period corresponds to the regular production period.

Table 2. Inventory of the vineyard

Input	Unit	Period (install)	Period (oper)
Plants		3000	
Metal poles	kg/ha	550	
Fertilizers (synthetic)			
Nitrogen	kg/ha/yr	30	55
Phosphorus	kg/ha/yr	40	75
Potassium	kg/ha/yr	40	75
Pesticides			
Herbicides	kg ai/ha/yr	0	0
Fungicides	kg ai/ha/yr	3.36	6.89
Insecticides	kg ai/ha/yr	1.2	2.6
Irrigation			
Electricity use	kWh/ha/yr	880	440
Field operations			
Diesel use	l/ha/yr	36	34.6

The yields of both the olive grove and the vineyard are shown in Tables 3 and 4, respectively.

Table 3. Production yield of the olive grove

Output	Unit	Period (install)	Period (oper)
Olives	ton/ha	2.25	6.50

As expected, the average yield during the first period is significantly lower than in the regular period.

Table 4. Production yield of the vineyard

Output	Unit	Period (install)	Period (oper)

Grapes	ton/ha	4.00	14.70

2.4.2. Data sources and main assumptions

Table 5 shows the primary energy for the inputs.

Table 5. Primary energy of inputs

Input	Primary Energy	Unit Primary Energy
Plant[1]	2.61	MJ/plant
N fertilizer[1]	48.99	MJ/kg
P_2O_5 Fertilizer[1]	15.23	MJ/kg
K_2O Fertilizer[1]	9.68	MJ/kg
Pesticide[1]	268.4	MJ/kg
Diesel Fuel[1]	49.99	MJ/kg
Electricity[2]	4.53	MJpNR/MJ

[1]Biograce V4 (2012), [2]Ecoinvent (2007)

Table 6 shows the respective GHG emissions.

Table 6. GHG emissions of inputs

Input	Unit GHGs	Total GHG ($kgCO_2eq$)
Plant[1]	kg/plant	0.276
N fertilizer[1]	kg/kg N	5.88
P_2O_5 Fertilizer[1]	kg/kg P_2O_5	1.01
K_2O Fertilizer[1]	kg/kg K_2O	0.576
Pesticide[1]	kg/kg	10.97
Diesel Fuel[1]	kg/kg	3.64
Electricity[2]	kg/MJ	2.086

[1]Biograce V4 (2012), [2]Ecoinvent (2007)

Pesticides require the highest energy and produce the most GHGs. Diesel fuel and nitrogen fertilizers follow with minor difference between them. The low pesticide quantity used in these plantations results in low energy and GHG contribution in the total agricultural system, whereas nitrogen fertilizers and diesel fuel contributes significantly.

Tables 5 and 6 clearly show that non-renewable energy required and GHG emissions for electricity production in Greece are very high. These figures are much higher than the EU average (Ecoinvent, 2007), as the electricity grid in Greece is mainly supported by units of coal and oil, with low efficiency, which results in high energy input and GHG emissions.

3. RESULTS & DISCUSSION

3.1. Olive Groves

3.1.1. Current Energy and GHG emissions profile

Figure 2 shows the energy and GHG emissions profile of the traditional olive grove.

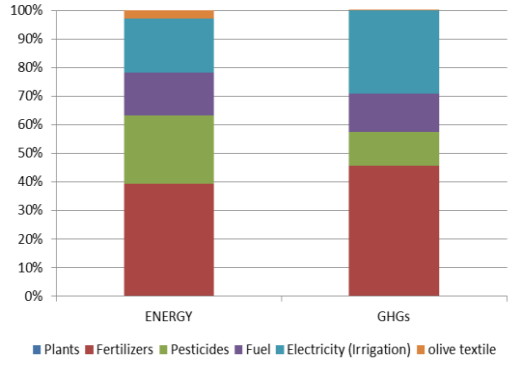


Figure 2. Energy and GHG emissions profile of the conventional olive grove

The highest energy consumer and GHG emission contributor are the fertilizers. The second most important energy consumer are the pesticides, followed by electricity and fuel. As for the contribution to GHG emissions, fertilizers are followed by electricity and pesticides, whereas fuel is on the same level.

3.1.2. Energy alteration using organic farming

Organic farming reduces energy consumption on a surface basis by 13.9%, as chemical fertilizers and pesticides are substituted by less energy demanding supplies, while the final yield is not reduced as much (5%) (Figure 3).

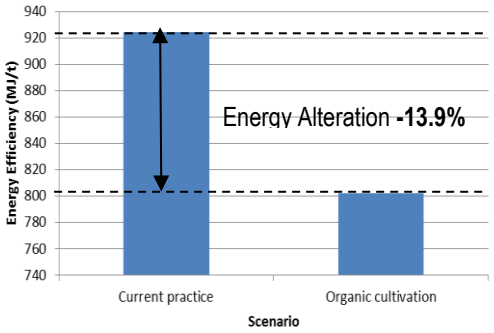


Figure 3. Energy efficiency alteration on a production basis from conventional to organic olive grove

3.1.3 GHG emissions alteration using organic farming

Figure 4 shows that organic farming reduces GHGs by 37.8%.

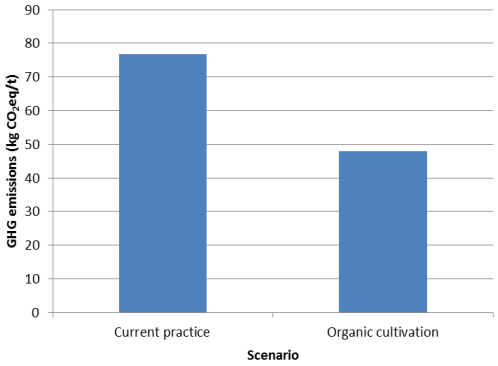


Figure 4. GHG emissions alteration on a production basis from conventional to organic olive grove

This reduction is significantly higher than the energy reduction, as the chemical fertilizers applied in the traditional farming system are substituted by manure in the organic farming system. Another reason is that chemical pesticides are substituted in the organic system by paper traps (bait pheromone) and baits associated with insignificant amounts of GHG emissions.

3.2 Vineyards

3.2.1. Current Energy and GHG emissions profile

Figure 5 shows the energy and GHG emissions profile of the traditional vineyard. The highest energy consumer and GHG emission source is the electricity

for irrigation. The second most important energy consumer are the fertilizers, followed by pesticides and fuel. As for GHG emissions, electricity is followed by fertilizers and pesticides, whereas fuel is on the same level.

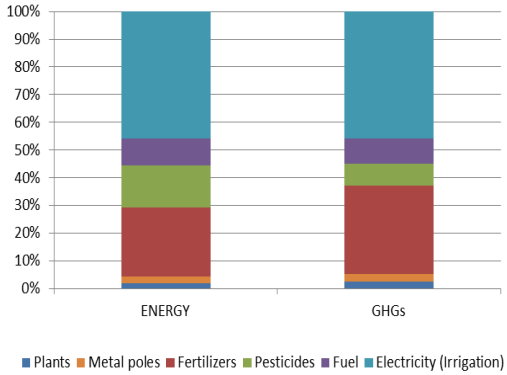


Figure 5. Energy profile and GHG emissions of the conventional vineyard

3.2.2. Energy

In the vineyard case, organic farming results in significantly lower grape yield (31%), which has a slightly negative impact on the final energy efficiency (by 0.4%) (Figure 6). The fact that no chemical fertilizers and pesticides are applied is not enough to cover the loss of grapes production.

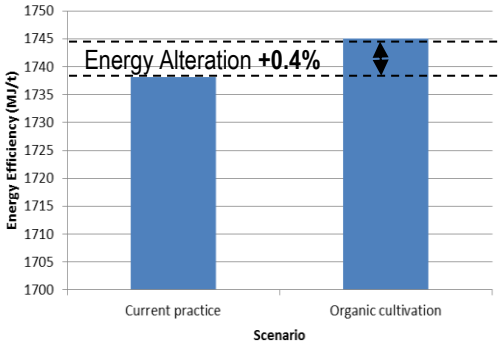


Figure 6. Energy efficiency alteration on a production basis from conventional to organic vineyard

3.2.2 Greenhouse Gas Emissions

Figure 7 shows that GHG emissions are reduced by 6.7%.

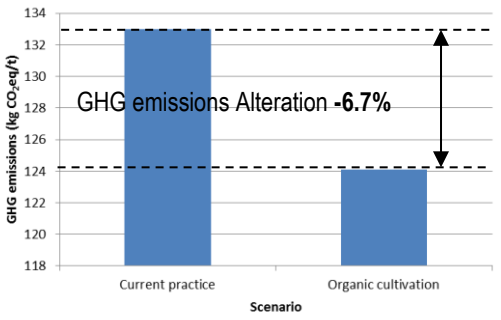


Figure 7. GHG emissions alteration on a production basis from conventional to organic vineyard

This is due to the fact that the pesticides and chemical fertilizers that are not applied are contributors (during the process of their production) to significant quantities of GHG emissions. At the same time the chemical fertilizer substitute (manure) is not taken into account in the GHG emission calculations, as the manure is already left in piles to be composted even if it is not used in the vineyard.

5. CONCLUSIONS

A comparison, using real farm data, is presented between traditional and organic farming of an olive grove and a vineyard located in the Sterea Ellada region. It is based on the energy efficiency per unit product and the respective GHG emissions. Olive and grape production using organic farming gives positive results in terms of energy savings and reduced GHG emissions. In the case of olive groves, organic farming reduces energy consumption by 13.9%, as chemical fertilizers and pesticides are replaced by less energy demanding inflows, while the final yield is reduced by 5%. Greenhouse gas emissions are reduced by 37.8%. In the vineyard case, organic farming significantly reduced crop yield (31%) resulting in worse energy efficiency (0.4%). However, greenhouse gas emissions were reduced by 6.7%.

6. ACKNOWLEDGEMENTS

This work **is supported by the European Commission through the Seventh Framework Programme, Project** "Energy Efficiency in Agriculture: AGREE" **(FP7-KBBE-2011-5-289139)**.

REFERENCES

Altieri M.A., 1992. Agroecological foundations of alternative agriculture in California, Agriculture Ecosystems and Environment, 39, 23-53.

Biograce, 2010. Intelligent Energy Europe, www.biograce.net

Dalgaard T., Halberg N., Porter J.R., 2001. A model for fossil energy use in Danish agriculture used to compare organic and conventional farming, Agriculture Ecosystems and Environment, 87, 51-65.

Ecoinvent v2 database, 2007. SimaPro 7

Genitsariotis M, Chlioumis G., Tsarouhas B, Tsatsarelis K., Sfakiotakis E., 2000. Energy and nutrient input and output of a typical olive orchard in northern Greece, Acta Horticulture, 525, 455-458.

Guzman G.I., Alonso A.M. (2008). A comparison of energy use in conventional and organic olive oil production in Spain, Agricultural Systems, 98, 167-176.

Kaltsas A.M., Mamolos A.P., Tsatsarelis C.A., Nanos G.D., Kalburtji K.L., 2007. Energy budget in organic and conventional olive groves, Agriculture Ecosystems and Environment, 122, 243-251.

Kavargiris S.E., Mamolos A.P, Tsatsarelis C.A., Nikolaidou A.E., Kalburtji K.I., 2009. Energy resources' utilization of organic and conventional vineyards: Energy flow, greenhouse gas emissions and biofuel production., Biomass and Bioenergy, 33, 1239-1250.

ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ ΑΠΟ ΤΥΡΟΓΑΛΑ ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΕΝΟ ΜΕ ΕΚΧΥΛΙΣΜΑ ΗΜΙ-ΚΟΜΠΟΣΤΟΠΟΙΗΜΕΝΩΝ ΣΤΕΡΕΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΠΤΗΝΟΤΡΟΦΕΙΟΥ ΑΥΓΟΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

Αγγελική Σπυρούδη[1], Δημήτρης Γεωργακάκης[1], Ματίλντα Θοδωρή[1]
[1]Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών, Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων & Γεωργικής Μηχανικής, Τομέας Αγροτικών Κατασκευών και Γεωργικής Μηχανικής, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Ιερά Οδός 75, Βοτανικός, Αθήνα, Τ.Κ. 18500

Στην εργασία αυτή μελετήθηκε η παραγωγή βιοαερίου από τυρόγαλα με περιεκτικότητα 5,2% σε ολικά στερεά (Ο.Σ.), στο οποίο προστέθηκε αραιό υδατικό εκχύλισμα ημι-κομποστοποιημένων στερεών αποβλήτων πτηνοτροφείου αυγοπαραγωγής (1,6-3,2% Ο.Σ.). Το πείραμα διεξήχθη στις εγκαταστάσεις του Εργαστηρίου Γεωργικών Κατασκευών του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών (Γ.Π.Α.) για διάστημα περίπου επτά μηνών. Δοκιμάστηκαν διάφοροι υδραυλικοί χρόνοι παραμονής (ΥΧΠ) και λόγοι ανάμιξης πτητικών στερεών (ΛΠΣ) των α' υλών με σκοπό την αριστοποίηση της διαδικασίας, ως προς την σταθερότητά της και το ύψος παραγωγής βιοαερίου στην υπερ-μεσόφιλη περιοχή με εύρος θερμοκρασίας 38-44ºC. Τα αποτελέσματα έδειξαν μια βέλτιστη μέση τιμή VBP 2,2 $Nm^3/m^3_{χων}$-ημ για μια μέση τιμή VOL 2,5 kg ΠΣ/$m^3_{χων}$-ημ, ένα άριστο ΧΠ 24 ημερών και ένα μέσο ΛΠΣ = 1,43/1 και πως η παραγωγή βιοαερίου από μίγματα α' υλών χαμηλής περιεκτικότητας σε ΟΣ, όπως τα παραπάνω, μπορεί να αποβεί οικονομικά εφικτή. Σε πρακτικό επίπεδο, τα αποτελέσματα μπορούν να αξιοποιηθούν από τα τυροκομεία για την αντιμετώπιση του σημαντικού προβλήματος χειρισμού του τυρογάλακτος και παράλληλα να εξοικονομήσουν ζεστό νερό ή/και ηλεκτρική ενέργεια.

Λέξεις κλειδιά: βιοαέριο, αναερόβια χώνευση, τυρόγαλα, απόβλητα πτηνοτροφείου, εκχύλισμα

BIOGAS PRODUCTION FROM WHEY ENRICHED WITH LIQUID EXTRACT FROM SEMI-COMPOSTED POULTRY MANURE

Angeliki Spyroudi[1], Dimitris Georgakakis[1], Matilda Thodori[1]
[1]Laboratory of Agricultural Constructions, Department of Natural Resources Management and Agricultural Engineering, Division of Agricultural Constructions and Agricultural Engineering, Agricultural University of Athens (AUA), Iera Odos 75, Votanikos, GR-18500, Athens, Greece
aspyroudi@gmail.com, digeo@aua.gr, gwgwthodwrh@yahoo.com

In this work, the production of biogas from whey, with 5.2% total solids (TS) content and liquid extract, with 1.6 to 3.2% TS content from water diluted semi-composted solid poultry manure has been studied. The experiment took place at the Laboratory of Agricultural Constructions of the Agricultural University of Athens for a period of about seven months. Various hydraulic retention times (HRT) and raw materials volatile solids (VS) mixing ratios were tested in order to optimise process stability and biogas production rate in the upper-mesophilic range of 38-44ºC. A volumetric biogas production rate (VBP) of 2,2 Nm^3/m^3_R-d was obtained at a volumetric organic load (VOL) of 2,5 kg VS_{in}/m^3_R-d, an optimum HRT of 24 days and an average VS ratio of 1,43/1. The results have shown that biogas production from low - TS raw material mixtures, as the above, could be economically feasible. In practice, the results can be used from cheese factory owners to properly handle their whey, while saving hot water and / or electric power.

Key words: biogas, anaerobic digestion, whey, poultry manure, liquid extract

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

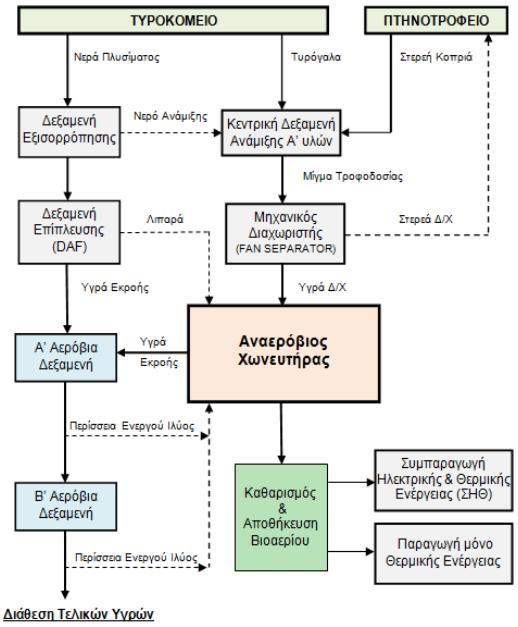
Η στενότητα των συμβατικών καυσίμων και οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις διαφόρων βιομηχανικών πρακτικών, έχουν στρέψει τη προσοχή στην αναζήτηση νέων πηγών ενέργειας που να είναι αποδοτικές και ταυτόχρονα φιλικές προς το περιβάλλον. Η αναερόβια χώνευση (ΑΧ) είναι μια βιολογική μέθοδος κατά την οποία, η οργανική ύλη μπορεί και μετατρέπεται σε βιοαέριο – μίγμα κυρίως διοξειδίου του άνθρακα (CO_2) και μεθανίου (CH_4) – από εξειδικευμένα αναερόβια βακτήρια, γνωστά ως μεθανοβακτήρια, σε ουδέτερο προς αλκαλικό περιβάλλον. Ακόμα, σε απόβλητα οργανικής προέλευσης, μειώνει το οργανικό τους φορτίο και με αυτό τον τρόπο τα καθιστά κατάλληλα για την απόθεση τους στον περιβαλλοντικό αποδέκτη. Ως εκ τούτου, η αναερόβια χώνευση, χρησιμοποιείται στην πράξη, αφενός για την διαχείριση και σταθεροποίηση οργανικών υγρών ή ημι-υγρών αποβλήτων (McCarty, 1964) και αφετέρου, για την παραγωγή βιοαερίου, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε σειρά εφαρμογών αξιοποίησής του (Walsh et al., 1989).

Η αναερόβια χώνευση είναι μια πολύπλοκη και δυναμική βιολογική διεργασία (Pind et al., 2003; Ryhiner et al., 1993) και αποτελείται από τέσσερις φάσεις: 1) υδρόλυση των πολυμερών προς υδροδιαλυτά μονομερή 2) οξεογένεση, 3) οξικογένεση και 4) μεθανογένεση (Angelidaki et al., 2003; Batstone et al., 2002; Deublein and Steinhauser, 2008). Μεταξύ των παραπάνω φάσεων, η υδρόλυση πολύπλοκων οργανικών υλικών

θεωρείται ότι είναι ο επιβραδυντικός παράγοντας της όλης διεργασίας (Pavlostathis and Giraldo-Gomez, 1991). Τα κτηνοτροφικά απόβλητα περιέχουν σημαντικές ποσότητες χαμηλής αποδόμησης λιγνοκυτταρινούχων υλικών (Wen et al., 2004), τα οποία επιδρούν περιοριστικά στην υδρολυτική φάση (González-Fernández et al., 2008) και επιπλέον προκαλούν προβλήματα στον χειρισμό των αποβλήτων κατά την τροφοδοσία, την ανάδευση και την εξαγωγή τους από τους αναερόβιους βιοαντιδραστήρες (Lo et al., 1983). Τα κτηνοτροφικά απόβλητα, ιδιαίτερα εκείνα σε μορφή ιλύος, αποτελούν ένα σημαντικό περιβαλλοντικό πρόβλημα, λόγω της ρύπανσης επιφανειακών ή υπόγειων νερών από τυχόν ανεξέλεγκτες απορροές τους (Hjorth et al., 2010; Sandiford, 1984).

Ένας πρακτικός τρόπος για την μείωση της περιβαλλοντικής επίδρασης των ημίρρευστων κτηνοτροφικών αποβλήτων είναι ο μηχανικός διαχωρισμός τους σε στερεά και υγρά κλάσματα. Το στερεό κλάσμα αποτελεί ένα σχετικά ξηρό και πλούσιο σε ανόργανα στοιχεία υλικό, ενώ το υγρό περιέχει σημαντική ποσότητα βιο-αποδομήσιμης και υδροδιαλυτής οργανικής ύλης (Burton, 2007; Møller et al., 2002; Rico et al., 2007). Ο μηχανικός διαχωρισμός των αποβλήτων σε στερεά/υγρά κλάσματα μπορεί να θεωρηθεί ως μια μορφή προ-επεξεργασίας, η οποία συνίσταται στην αφαίρεση των λιγότερο βιο-αποδομήσιμων μερών των αποβλήτων. Συγκεκριμένα, η λιγνινο-κυτταρινούχα ύλη διασπάται δύσκολα από τους αναερόβιους μικροοργανισμούς (Liao et al., 1984; Lo et al., 1983). Από τη στιγμή όμως που το στερεό κλάσμα των αποβλήτων μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εδαφοβελτιωτικό μετά την κομποστοποίησή του, θεωρείται προϊόν με προστιθέμενη αξία (Brito et al., 2008; Georgacakis et al. 1996; Lo et al., 1993). Το υγρό κλάσμα, απαλλαγμένο από λιγνινο-κυτταρινούχα υλικά, θα μπορούσε, στη συνέχεια, να αποτελέσει την πρώτη ύλη για την παραγωγή βιοαερίου, παρουσιάζοντας μια σειρά από πλεονεκτήματα, όπως ο ευκολότερος χειρισμός του κατά την τροφοδοσία, την ανάδευση και την εξαγωγή του από τους αναερόβιους βιοαντιδραστήρες (Hill et al, 2000). Η αξιοποίηση του τυρογάλακτος στην παραγωγή βιοαερίου παρέχει επιπλέον την δυνατότητα αρμονικής ενσωμάτωσής του στο σύστημα διαχείρισης των αποβλήτων του τυροκομείου (Διάγραμμα 1), δίνοντας διέξοδο στο οξύ σημερινό περιβαλλοντικό πρόβλημα διάθεσής του.

Η πρωτοτυπία της εργασίας αυτής έγκειται στη χρήση ημι-κομποστοποιημένων άοσμων στερεών αποβλήτων πτηνοτροφείου, τα οποία μετά από αραίωσή τους με νερό, διαχωρίστηκαν με μηχανικό τρόπο σε αραιό εκχύλισμα και στερεό υπόλειμμα. Στη συνέχεια, το εκχύλισμα αναμίχθηκε με τυρόγαλα. Το μίγμα, που προέκυψε χρησιμοποιήθηκε ως α' ύλη για την παραγωγή βιοαερίου. Η πειραματική διαδικασία πραγματοποιήθηκε σε εργαστηριακή κλίμακα, κατά την οποία, προσδιορίστηκαν οι ακριβείς ποσότητες των υγρών στο μίγμα τροφοδοσίας, που επιτρέπουν την μέγιστη παραγωγή βιοαερίου. Τα αποτελέσματά της εργασίας εφαρμόστηκαν στη δυναμικότητα της τυροκομικής μονάδας, από την οποία γινόταν η προμήθεια του τυρογάλακτος και επιχειρήθηκε μια πρώτη προσέγγιση οικονομικής αξιολόγησης της όλης διαδικασίας ως επενδυτικής πρότασης.



Διάγραμμα 1. Πρόταση ολοκληρωμένης διαχείρισης του τυρογάλακτος στα τυροκομεία, με παράλληλη αξιοποίησή του στην παραγωγή βιοαερίου για παραγωγή θερμικής ή/και ηλεκτρικής ενέργειας (Γεωργακάκης, 2011).

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1. Εργαστηριακοί αντιδραστήρες

Δύο εργαστηριακοί αναερόβιοι αντιδραστήρες, τύπου CSTR, ωφέλιμης χωρητικότητας 19L ο καθένας, χρησιμοποιήθηκαν για τη διεξαγωγή του πειράματος, συνολικής διάρκειας 7 μηνών περίπου. Ο ένας από τους αντιδραστήρες λειτουργούσε ως μάρτυρας. Το πείραμα διεξήχθη στην υπερ-μεσόφιλη περιοχή με θερμοκρασία 38-44°C. Δοκιμάστηκαν τρεις διαφορετικοί ΥΧΠ των αποβλήτων στους αντιδραστήρες, 16, 21 και 32 ημέρες, με διαφορετικές αναλογίες μιγμάτων τροφοδοσίας. Η τροφοδοσία των χωνευτήρων γινόταν ανά 48 ώρες.

2.2. Υλικά τροφοδοσίας

Αρχικά, χρησιμοποιήθηκε ως υλικό τροφοδοσίας και στους δύο χωνευτήρες μόνο υδατικό εκχύλισμα κοπριάς πτηνοτροφείου, με δύο διαφορετικές τιμές ολικών στερεών 1,6%$_{κ.β.}$ και 3,2%$_{κ.β.}$, μέχρι να σταθεροποιηθεί το pH και το παραγόμενο βιοαέριο. Για τη παρασκευή του εκχυλίσματος πτηνοτροφείου με νερό χρησιμοποιήθηκαν ημι-κομποστοποιημένα απόβλητα πτηνοτροφείου αραιωμένα με νερό σε αναλογία 1:1 κατά βάρος περίπου. Μετά την ανάμιξη των αποβλήτων με νερό, το μίγμα υφίστατο χειρονακτική συμπίεση περνώντας ανάμεσα από

δύο συρμάτινες σίτες με οπές διαμέτρου 1,00cm και 0,2cm αντίστοιχα σε υποκατάσταση του μηχανικού διαχωρισμού. Το παραγόμενο εκχύλισμα, καθώς και το τυρόγαλα, αποθηκεύονταν σε μικρά πλαστικά δοχεία των 3 και 5L στη κατάψυξη (-15°C). Μετά από κάθε τροφοδοσία των χωνευτήρων αφαιρούνταν από την κατάψυξη και παρέμενε για απόψυξη, η επόμενη δόση τροφοδοσίας.

2.3. Μετρήσεις

Ο λόγος των πτητικών στερεών τυρογάλακτος/ εκχυλίσματος κοπριάς για κάθε ΥΧΠ αυξάνονταν με σταδιακή προσθήκη τυρογάλακτος και παράλληλη αφαίρεση ισόποσου εκχυλίσματος, έτσι ώστε να διατηρείται κάθε φορά σταθερός ο συνολικός όγκος του μίγματος τροφοδοσίας. Κάθε 48 ώρες μαζί με τη τροφοδοσία γινόταν μέτρηση του pH και της θερμοκρασίας των εξερχόμενων υγρών, ενώ στο τέλος κάθε φάσης προσδιορίζονταν επιπλέον και οι τιμές των ΟΣ%$_{κ.β.}$, ΠΣ%$_{ΟΣ}$ και ΠΣ%$_{κ.β.}$ των πρώτων υλών και των εξερχόμενων υγρών με βάση τις standard methods (APHA 1992). Τέλος, μετριόταν και η περιεκτικότητα του βιοαερίου σε μεθάνιο (CH_4) ογκομετρικά με απορρόφηση του διοξειδίου του άνθρακα (CO_2) σε κορεσμένο διάλυμα υδροξειδίου του νατρίου (NaOH).

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

3.1. Χαρακτηριστικά α' υλών

Το τυρόγαλα προερχόταν από απόβλητα τυροκομικής μονάδας παραγωγής τυριού – φέτας – στην περιοχή της Αργολίδας. Τα απόβλητα πτηνοτροφείου προμηθεύονταν σε ημι-κομποστοποιημένη αποξηραμένη μορφή από πτηνοτροφείο αυγοπαραγωγής στη περιοχή της Κορίνθου. Η μέση περιεκτικότητα της κοπριάς σε ολικά και πτητικά στερεά προσδιορίστηκε σε 55,79% και 37,31% κατά βάρος, ενώ του τυρογάλακτος σε 5,16% και 4,42% αντίστοιχα. Το νερό και το τυρόγαλα λειτούργησαν ως διαλύτες για τα αποξηραμένα ημι-κομποστοποιημένα στερεά πτηνοτροφικά απόβλητα (ΗΣΠτ), δημιουργώντας ένα αραιό μίγμα κατάλληλο για εύκολη τροφοδοσία των χωνευτήρων και ανάδευση του μίγματος στο εσωτερικό τους. Τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του υδατικού εκχυλίσματος των ΗΣΠτ σε κάθε ΥΧΠ παρουσιάζονται στον Πίνακα 1.

Πίνακας 1: Περιεκτικότητα του εκχυλίσματος των ΗΣΠτ σε ΟΣ και ΠΣ σε διάφορους ΥΧΠ και τιμές pH

Παράμετρος	ΥΧΠ = 16 ημ	ΥΧΠ = 21, 32 ημ
ΟΣ% $_{(κ.β.)}$	1,64	3,23
ΠΣ% $_{(ΟΣ)}$	69,36	67,48
ΠΣ% $_{(κ.β.)}$	1,14	2,18
pH	9,47	9,26

Από τον Πίνακα 1 προκύπτει πως στο εκχύλισμα, τα ποσοστά των ΟΣ και ΠΣ κατά βάρος εμφανίζονται διπλάσια σχεδόν στους ΥΧΠ των 21 και 32 ημερών έναντι εκείνου των 16 ημερών. Η διαφοροποίηση αυτή αποδόθηκε στο μεγάλο χρονικό διάστημα της πειραματικής διαδικασίας για τις 16 ημέρες (3 μήνες περίπου) σε σχέση με τις 21 και 32 ημέρες (επιπλέον 4 μήνες περίπου) και συνεπώς στα διαφορετικής σύστασης φορτία α' υλών και τους αναπόφευκτους διαφορετικούς χειρισμούς της στο Εργαστήριο. Όμως, το γεγονός αυτό αξιοποιήθηκε κατάλληλα παρέχοντας την δυνατότητα προσδιορισμού των λόγων ανάμιξης ΠΣ για 'ελάχιστη' και 'μέγιστη' παραγωγή βιοαερίου, όπως αναπτύσσεται πιο κάτω.

3.2. Παραγωγή βιοαερίου

Η τροφοδοσία του χωνευτήρα - μάρτυρα γινόταν μόνο με εκχύλισμα πτηνοτροφείου με νερό, ενώ του άλλου, με εκχύλισμα πτηνοτροφείου με νερό και τυρόγαλα, όπως προαναφέρθηκε. Για κάθε ΥΧΠ (16, 21 και 32 ημέρες), οι ακριβείς ημερήσιες ποσότητες των μιγμάτων τροφοδοσίας ήταν 1,2, 0,9 και 0,6L αντίστοιχα. Η περιεκτικότητα του βιοαερίου σε μεθάνιο (CH_4) προσδιορίσθηκε κατά μέσο όρο στο 72% (3 μετρήσεις). Το τυρόγαλα έχει αυξημένη περιεκτικότητα σε υδατάνθρακες, η οποία ευνοεί την ανάπτυξη των οξεοτρόφων βακτηρίων, λόγω του έντονου ρυθμού παραγωγής οργανικών οξέων, αλλά, λόγω απουσίας επαρκούς αμμωνιακού αζώτου, παρουσιάζει χαμηλή ρυθμιστική ικανότητα (Hanson, 1982). Την έλλειψη αζώτου έρχεται να καλύψει η παρουσία του πλούσιου σε αμμωνία εκχυλίσματος ΗΣΠτ.

Δεδομένου ότι η περιεκτικότητα σε ΠΣ του εκχυλίσματος αποβλήτων πτηνοτροφείου με νερό που χρησιμοποιήθηκε στα μίγματα τροφοδοσίας ήταν διαφορετική ανάμεσα στους τρεις ΥΧΠ, έγινε προσαρμογή των αποτελεσμάτων. Συγκεκριμένα, ο ΛΠΣ των 16 ημερών εφαρμόστηκε και για τους ΥΧΠ 21 και 32 ημέρες και αντίστροφα, ο ΛΠΣ των ΥΧΠ 21 και 32 ημερών εφαρμόστηκε για τον ΥΧΠ 16 ημέρες.

Έτσι προέκυψαν δύο ενιαίοι ΛΠΣ για όλους τους ΥΧΠ, ένας min και ένας max, για τους οποίους προσδιορίστηκαν η 'ελάχιστη' και η 'μέγιστη' ογκομετρική παραγωγή βιοαερίου (VBP) και η ογκομετρική οργανική φόρτιση (VOL) αντίστοιχα, όπως φαίνεται χαρακτηριστικά στον Πίνακα 2, σε σχέση με τον μάρτυρα (ΛΠΣ = 0,0/1).

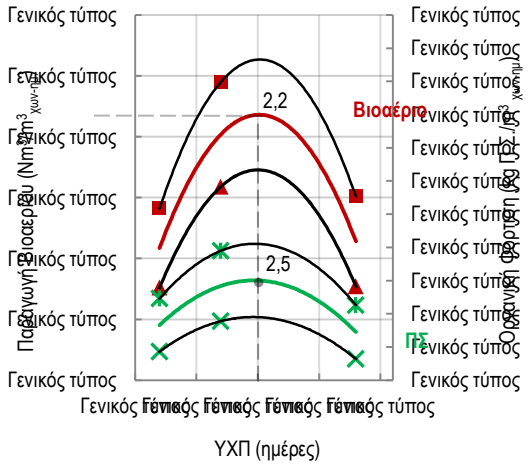
Πίνακας 2: 'Μέγιστη' και 'ελάχιστη' ογκομετρική παραγωγή βιοαερίου και οργανική φόρτιση.

		ΥΧΠ (ημέρες)	16	21	32
		Μίγμα Τροφοδοσίας (L/24h)	1,2	0,9	0,6
Λόγος $ΠΣ_{(ΤΥΡ)}/ΠΣ_{(ΕΚΧ)}$	1,98/1	VBP max ($Nm^3/m^3_{χων}$-ημ)	**1,41**	*2,45*	*1,51*
		VOL max ($kgΠΣ/m^3_{χων}$-ημ)	**2,14**	*2,96*	*2,14*
	0,87/1	VBP min ($Nm^3/m^3_{χων}$-ημ)	*0,76*	**1,59**	**0,77**
		VOL min ($kgΠΣ/m^3_{χων}$-ημ)	*1,35*	**1,89**	**1,32**
	0,0/1	VBP ($Nm^3/m^3_{χων}$-ημ)	0,31	0,92	0,19
		VOL ($kgΠ/m^3_{χων}$-ημ)	0,74	1,05	0,68

Για την διαμόρφωση του Πίνακα 2 λήφθηκε υπόψη και το γεγονός της γραμμικής αύξησης της παραγωγής βιοαερίου που παρατηρείται με την αύξηση της VOL, εντός ορίων, σε κάθε τιμή ΥΧΠ (Δρούγα κ.ά., 2011). Οι τιμές με bold προέκυψαν κατά την πειραματική διαδικασία, ενώ οι τιμές με *italics* από την προαναφερθείσα γραμμική αύξηση της παραγωγής βιοαερίου με την προσθήκη τυρογάλακτος (αύξηση του ΛΠΣ).

Από τα στοιχεία του Πίνακα 2 γίνεται εμφανές, πως η προσθήκη τυρογάλακτος σε αντικατάσταση αντίστοιχης ποσότητας εκχυλίσματος ΗΣΠτ, χωρίς να μεταβάλλεται η συνολική ημερήσια ποσότητα τροφοδοσίας του αναερόβιου χωνευτήρα (σταθερός ΥΧΠ), μπορεί να επιφέρει πολλαπλάσια αύξηση στην παραγωγή βιοαερίου, συγκριτικά με τον χωνευτήρα - μάρτυρα (χωρίς τυρόγαλα), γεγονός που επιτρέπει θετικότερες οικονομικές αξιολογήσεις τέτοιων εγκαταστάσεων στα τυροκομεία.

Εκφράζοντας τις 'μέγιστες' και τις 'ελάχιστες' τιμές της ογκομετρικής παραγωγής βιοαερίου (VBP) σε $Nm^3/m^3_{χων}$-ημ και τις αντίστοιχες τιμές ογκομετρικής οργανικής φόρτισης (VOL) σε kg ΠΣ/$m^3_{χων}$-ημ, προκύπτει ένας βέλτιστος υδραυλικός χρόνος παραμονής (ΥΧΠ) 24 ημερών (Διάγραμμα 1). Για την τιμή αυτή και ένα μέσο ΛΠΣ = 1,43/1 προκύπτει μια αντίστοιχη βέλτιστη μέση τιμή VBP = 2,2 $Nm^3/m^3_{χων}$-ημ και VOL = 2,5 kgΠ.Σ./$m^3_{χων}$-ημ, σύμφωνα με το ίδιο διάγραμμα.



Διάγραμμα 1: Παραγωγή βιοαερίου (VBP) και οργανική φόρτιση (VOL) σε σχέση με τον υδραυλικό χρόνο παραμονής (ΥΧΠ) του μίγματος α' υλών στον αναερόβιο χωνευτήρα

Η παραγωγή απλά και μόνο θερμικής ενέργειας από το βιοαέριο, που μπορεί να προκύψει από την αξιοποίηση του τυρογάλακτος στο τυροκομείο που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία, υπολογίστηκε σε 443 MWh_{th}/έτος, ισοδύναμης αξίας σε υγραέριο 50.958 ευρώ (0,8€/L). Στην περίπτωση της χρήσης του βιοαερίου για συμπαραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας (Σ.Η.Θ.), η ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να φτάσει τις 160 MWh_e/έτος, χρηματικής αξίας 40.540 ευρώ, με τιμή αγοράς της από τη Δ.Ε.Η. τα 253 €/MWh_e και η θερμική τις 252 MWh_{th}/έτος, ισοδύναμης αξίας με υγραέριο 28.027 ευρώ. Σε αμφότερες τις ως άνω περιπτώσεις, η περίσσεια θερμικής ενέργειας, μετά την αφαίρεση των αναγκών θέρμανσης του χωνευτήρα, προκύπτει πως μπορεί να καλύψει πλήρως τις ανάγκες παραγωγής ζεστού νερού/ατμού στο εν λόγω τυροκομείο, υποκαθιστώντας όλη την ποσότητα υγραερίου, που χρησιμοποιείται σήμερα (24.200 L/έτος).

Εφαρμογή του μοντέλου οικονομικής αξιολόγησης M.B.E.E.Model (Georgakakis et al, 2003) έδειξε πως η επένδυση μπορεί να αποσβεστεί εντός δωδεκαετίας, από την έναρξη λειτουργίας της εγκατάστασης, ανεξάρτητα από το αν η χρηματοδότηση του έργου γίνει με ίδια κεφάλαια, είτε μέσω τραπεζικού δανεισμού (Spyroudi et al, 2013).

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η προσθήκη τυρογάλακτος στην τροφοδοσία του αναερόβιου χωνευτήρα με εκχύλισμα ΗΣΠτ συνέβαλε θετικά στην αύξηση της παραγωγής βιοαερίου έως την βέλτιστη μέση τιμή των 2,2 $Nm^3/m^3_{χων}$-ημ και την μέση τιμή οργανικής φόρτισης των 2,5 kgΠ.Σ./$m^3_{χων}$-ημ για ένα άριστο μέσο ΥΧΠ 24 ημερών. Η παραγωγή βιοαερίου/μεθανίου με τη χρήση εκχυλίσματος ΗΣΠτ ήταν τουλάχιστον διπλάσια σε σχέση με αυτή που έχει αναφερθεί στην βιβλιογραφία (Deublein and Steinhauser, 2008). Το εκχύλισμα των ΗΣΠτ μετά την προσθήκη τυρογάλακτος στο μίγμα τροφοδοσίας, λειτούργησε ως ρυθμιστής, ώστε το σύστημα να παραμένει σε σταθερή ισορροπία. Οι τιμές του pH κυμάνθηκαν σε ικανοποιητικά επίπεδα (>7), διασφαλίζοντας τη σωστή λειτουργία του συστήματος. Μέσω της αναερόβιας χώνευσης, επιτεύχθηκε σημαντική μείωση του αρχικού οργανικού φορτίου στο μίγμα σε ποσοστό της τάξης του 70%ΠΣ. Το παραγόμενο βιοαέριο μπορεί να υπερκαλύψει τις ανάγκες του τυροκομείου σε θερμική ενέργεια, υποκαθιστώντας πλήρως το χρησιμοποιούμενο σήμερα υγραέριο. Η απόσβεση του επενδεδυμένου κεφαλαίου, μέσω χρηματοδότησης με ίδια κεφάλαια ή/και με τραπεζικό δανεισμό, είναι δυνατό να γίνει μέσα στα πρώτα 12 χρόνια λειτουργίας της εγκατάστασης, αφήνοντας αξιόλογα περιθώρια κέρδους.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Περιοδικά

Angelidaki, I., Ellegaard, L., Ahring, B. 2003. Applications of the anaerobic digestion process. (Eds.) B. Ahring, B. Ahring, I. Angelidaki, J. Dolfing, L. Euegaard, H. Gavala, F. Haagensen, A. Mogensen, G. Lyberatos, P. Pind, J. Schmidt, I. Skiadas, K. Stamatelatou. Biomethanation II, 82:1-33

Batstone, D.J., Keller, K., Angelidaki, I., Kalyuzhnyi, S.V., Pavlostathis, S.G., Rozzi, A., Sanders, W.T.M., Siegrist, H., Vavilin, V.A., 2002. Anaerobic Digestion Model No. 1. Scientific and Technical Report. IWA Task Group for Mathematical Modelling of Anaerobic Digestion Processes, IWA Publishing, Cornwall, 13:65-73

Brito, L.M., Coutinho, J., Smith, S.R., 2008. Methods to improve the composting process of the solid fraction of dairy cattle slurry. Bioresour. Technol., 99:8955-8960

Burton, C.H., 2007. The potential contribution of separation technologies to the management of livestock manure. Livestock Science, 112(3):208-216

Georgacakis, D., Tsavdaris, A., Bakouli, J., Symeonidis, S., 1996. Composting solid swine manure and lignite mixtures with selected plant residues. Bioresour. Technol., 56:195-200.

Georgakakis, D., Christopoulou, N., Chatziathanassiou, Art., Venetis, Th., 2003. The development and use of an economic evaluation model to assess the establishment of local centralized biogas plants in Greece. App. Biotech. and Biochem., 109(1-3):275-284.

González-Fernández, C., León-Cofreces, C., García-Encina, P.A., 2008. Different pretreatments for increasing the anaerobic biodegradability in swine manure. Bioresour. Technol., 99:8710-8714.

Hanson, G., 1982. End product inhibition in methane fermentation: Effects of Carbon Dioxide on Fermentative and Acetogenic Bacteria. European J Appl Microbiol Biotechnol, 13:242-247.

Hill, D.T. and Bolte, J. P., 2000. Methane production from low solid concentration liquid swine waste using conventional anaerobic fermentation. Bioresour. Technol., 74:241-247.

Hjorth, M., Christensen, K.V., Christensen, M.L., Sommer, S.G., 2010. Solid–liquid separation of animal slurry in theory and practice. A review. Agron. Sustain. Dev., 30:153-180

Liao P.H., Lo K.V., Chieng S.T., 1984. Effect of liquid-solids separation on biogas production from dairy manure. Energy in Agriculture, 3:61-69

Lo, K.V., Bulley, N.R., Liao, P.H., Whitehead, A.J., 1983. The effect of solids-separation pretreatment on biogas production from dairy manure. Agricultural Wastes, 8:155-165

Lo, K.V., Lau, A.K., Liao, P.H., 1993. Composting of Separated Solid Swine Wastes. JAER, 54(4):307-317

McCarty, P., 1964. Anaerobic waste treatment fundamentals. Public Works, 95:107-112

Møller, H.B., Sommer, S.G., Ahring, B.K., 2002. Separation efficiency and particle size distribution in relation to manure type and storage conditions. Bioresour. Technol., 85:189-196

Pavlostathis, S.G. and Giraldo-Gomez, E., 1991. Kinetics of anaerobic treatment. CRC Crit. Rev. Environ. Contr., 21:411-490

Pind, P., Angelidaki, I., Ahring, B., Stamatelatou, K., Lyberatos, G., 2003. Monitoring and Control of Anaerobic Reactors. (Eds.) B. Ahring, B. Ahring, I. Angelidaki, J. Dolfing, L. Euegaard, H. Gavala, F. Haagensen, A. Mogensen, G. Lyberatos, P. Pind, J. Schmidt, I. Skiadas, K. Stamatelatou. Biomethanation II, 82:135-182

Rico, J.L., García, H., Rico, C., Tejero, I., 2007. Characterisation of solid and liquid fractions of dairy manure with regard to their component distribution and methane production. Bioresour. Technol., 98:971-979

Ryhiner, G.B., Heinzle, E., Dunn, I.J., 1993. Modeling and simulation of anaerobic wastewater treatment and its application to control design: Case whey. Biotechnol. Prog., 9:332-343

Sandiford, F., 1984. Controlling water pollution from animal wastes: A reconsideration of economic and legislative approaches. Agric., Ecosyst. Environ., 11:15-27

Walsh, J.L., Ross, C.C., Smith, M.S., Harper, S.R., 1989. Utilization of biogas. Biomass, 20:277-290

Wen, Z., Liao, W., Chen, S., 2004. Hydrolysis of animal manure lignocellulosics for reducing sugar production. Bioresour. Technol., 91:31-39

Κεφάλαια βιβλίων

APHA, 1992. Standard methods for the examination of water and wastewater. Washington: American Public Health Association.

Deublein Dieter and Steinhauser Angelika, 2008. Biogas from Waste and Renewable Resources. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, Germany

Γεωργακάκης, Δ., 2011. Διαχείριση Αποβλήτων. Τεύχος 3Α, Πανεπιστημιακές Σημειώσεις, Έκδοση Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών, 110-111

Πρακτικά Συνεδρίων

Δρούγα, Μ., Μάρκου, Γ., Γεωργακάκης, Δ., 2011. Μοντέλα παραγωγής μεθανίου για υγρά μηχανικού διαχωρισμού κτηνοτροφικών αποβλήτων και μιγμάτων τους με τυρόγαλα. Πρακτικά 7ου Συνεδρίου Εθνικού Συνεδρίου Γεωργικής Μηχανικής, Τόμος πρακτικών: Ενότητα Βιοκαύσιμα, 24-27 Νοεμβρίου, Αθήνα.

Spyroudi, A. and Georgakakis, D., 2013. Economic evaluation of a biogas production system co-digesting whey and liquid extract of diluted semi-composted poultry manure. Proceedings of 4th International Conference on Environmental Management, Engineering, Planning and Economics (CEMEPE & SECOTOX), Mykonos Island, Greece, 24 - 28 of June 2013.

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΕΚΠΟΜΠΩΝ CO_2 ΠΡΟΕΡΧΟΜΕΝΩΝ ΑΠΟ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΓΕΩΡΓΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΩΝ

Μ. Λουφοπούλου[1], Ε.Ροδιάς[2], Δ. Μπόχτης[3], Δ. Μόσχου[1]

[1] Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Γεωπονική Σχολή Τομέας Εγγείων Βελτιώσεων, Εδαφολογίας και Γεωργικής Μηχανικής, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης Γεωπονική Σχολή Πανεπιστημιούπολη 54124 Θεσσαλονίκη,

[2]Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής, Ιερά Οδός 75, Αθήνα, 11855

[3]University of Aarhus, Department of Engineering, Blichers Allé, Tjele, 8830, Denmark

Οι διάφορες δραστηριότητες της γεωργικής παραγωγής απαιτούν εισροές ενέργειας με σημαντική επίδραση στο περιβάλλον σύστημα. Η εισερχόμενη αυτή ενέργεια μπορεί να κατηγοριοποιηθεί σε α) άμεσες εισροές και β) έμμεσες εισροές. Η επίδραση των εισροών αυτών στο περιβάλλον μπορεί να αξιολογηθεί με διάφορους δείκτες ένας εκ των οποίων είναι οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO_2) στην ατμόσφαιρα. Ο συγκεκριμένος δείκτης είναι από τους πλέον σημαντικούς λόγω του ότι το διοξείδιο του άνθρακα είναι ένα από τα βασικότερα αέρια του θερμοκηπίου με σοβαρές περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Στο ενεργειακό ισοζύγιο των γεωργικών εκμεταλλεύσεων, και κατ' επέκταση στις εκπομπές CO_2 , ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν τα γεωργικά μηχανήματα όσον αφορά στην κατασκευή, στη μεταφορά, στη λειτουργία και συντήρηση τους και στη διαχείριση τους. Στην εργασία αυτή παρουσιάζεται η μέθοδος εκτίμησης των εκπομπών CO_2 από δραστηριότητες που σχετίζονται με τα γεωργικά μηχανήματα όσον αφορά στη παραγωγή καλαμποκιού.

Λέξεις κλειδιά: εισροές ενέργειας, διοξείδιο του άνθρακα, εκμηχάνιση, μεταβολή ενεργειακού ισοζυγίου.

ESTIMATION AND ANALYSIS OF CO_2 EMMISSIONS FROM AGRICULTURAL VEHICLES

M.Loufopoulou[1], E.Rodias[2] , D.Bochtis[3], D. Moshou[1]

[1]Aristotle University of Thessaloniki, Faculty of Agriculture, Land improvement, Edaphology and Agricultural engineering, University Campus 54124 Thessaloniki

[2]Agricultural University of Athens, Department of Natural Resources and Agricultural Engineering, Iera Odos 75, Athens, 11855

[3]University of Aarhus, Department of Engineering, Blichers Allé, Tjele, 8830, Denmark,
loufaki2011@hotmail.com, efthimisr@yahoo.gr, Dionysis.Bochtis@agrsci.dk dmoshou@auth.gr

The primary sector of production is one of the most important area of the production, regardless of the produced goods . The proper management of rural activities it can contribute to the economic management of the farm reducing fertilizing, fuel, seed , pollutants and many other factors that increase the cost of production. Use of the machines in the field of work, during the production season, accompanied by waste materials. Those materials it can be lost seed, lost fertilizing and lost spraying ,this effect it comes from mishandling farm control during the application process. As result of those west materials is the flow of energy in the system (farm inputs), those farm inputs can be categorized on indirect inputs (from manufacturing, transportation, buildings ,repair and maintenance) , direct inputs (from field traffic ,material transportation, machinery operational transportation) and all this translates as the energy balance change. This energy has implications to environment because of poor management field work, so it is very important to systematically approach the input. The effect of inputs on the environment can be assessed by several indicators, one of which is emissions of carbon dioxide (CO_2) in the atmosphere. The option of the index is based on the fact that carbon dioxide is one of the main greenhouse gases, with serious environmental consequences. In this study we are interested for corn production.

Keywords: farm inputs, carbon dioxide, mechanization, energy balance change

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο αραβόσιτος είναι ένα ανοιξιάτικο ετήσιο δημητριακό. Η επιλογή του σε αυτή τη εργασία έγινε με βάση το γεγονός ότι αποτελεί βασική πηγή διατροφής, η ραγδαία αύξηση της καλλιέργειας του και επιπλέον τα διάφορα μέρη του που έχουν βιομηχανική χρήση. Στην Ευρώπη σύμφωνα με τα στατιστικά στοιχεία του FAO (2011) η συγκομισθείσα έκταση υπολογίστηκε στα 16,451,157 ha δηλαδή 164 εκ στρέμματα με παραγωγή 108,571,262 tonnes. Στην Ελλάδα συγκεκριμένα υπολόγισε πώς η συγκομισθείσα έκταση ανήλθε στα 181,800.00 ha περίπου 1.8 εκ. στρέμματα με παραγωγή 2,165,790 tonnes και απόδοση περίπου 1,191 kg ανά στρέμμα. Γνωρίζοντας πως ο αγροτικός τομέας έχει σαν στόχο την τροφοδότηση της αγοράς με προϊόντα απαραίτητα για την κάλυψη των ανθρώπινων αναγκών. Η συνεχόμενη αύξηση της ζήτησης προϊόντων υψηλής ποιότητας και χαμηλού κόστους οδήγησε στην εκμηχάνιση της γεωργίας κατά την οποία τα γεωργικά μηχανήματα εκτελούν τις διάφορες αγροτικές εργασίες, αντιπροσωπευτικά είναι τα στατιστικά στοιχεία του FAO (2008) κατά τον

οποίο ο αριθμός των τρακτέρ και των άλλων μηχανημάτων στον τομέα της γεωργίας έχει αυξηθεί κατά τη διάρκεια του περασμένου αιώνα και ο αριθμός των ελκυστήρων παγκοσμίως έχει αυξηθεί από 11 εκατομμύρια το 1961, σε 28 εκατομμύρια το 2006. Αυτός ο αυξημένος βαθμός εκμηχάνιση οδήγησε στην μελέτη των περιβαλλοντικών επιπτώσεων της εκμηχάνισης, καθώς η γεωργία φέρει μια σημαντική συμβολή στις ανθρωπογενείς εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (GHG), με μερίδιο που εκτιμάται σε 10-12% των παγκόσμιων εκπομπών (Smith et al., 2007).Έτσι δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στις διάφορες ενεργειακές σπατάλες στον τομέα των γεωργικών συστημάτων που έχουν άμεση σχέση με όλες τις εισροές που λαμβάνουν μέρος στην παραγωγική διαδικασία. Η εισερχόμενη αυτή ενέργεια μπορεί να κατηγοριοποιηθεί σε: α) άμεσες εισροές ,β) έμμεσες εισροές. Η επίδραση των εισροών αυτών στο περιβάλλον μπορεί να αξιολογηθεί με διάφορους δείκτες ένας εκ των οποίων είναι οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO_2) στην ατμόσφαιρα.

1. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1 Ενεργειακές εισροές από τον πρωτογενή τομέα παραγωγής

2.1.1. Άμεσες εισροές ενέργειας

Λαμβάνονται από τα ορυκτά καύσιμα. Το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας που χρησιμοποιείται προέρχεται από τα καύσιμα ντίζελ, βενζίνη, υγραέριο, άνθρακα, και από την ηλεκτρική ενέργεια, η οποία μπορεί να παραχθεί από ορυκτά καύσιμα ή άλλες πηγές. Το καύσιμο ντίζελ είναι η πιο ευρέως χρησιμοποιούμενη από όλες τις άμεσες ενέργειες στον τομέα της γεωργίας με 60% -80% του συνόλου υγρών και αερίων καυσίμων πετρελαίου που χρησιμοποιούνται.

2.1.2. Έμμεσες εισροές ενέργειας

Η έμμεση χρήση αναφέρεται στην ενέργεια που χρησιμοποιείται για την παραγωγή του εξοπλισμού και των άλλων υλικών που χρησιμοποιούνται στο αγρόκτημα. Αυτού του είδους οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου που προκύπτουν από την παραγωγή των λιπασμάτων, φυτοφάρμακων, από την καύση των καυσίμων και χρήση των μηχανημάτων για την εκμετάλλευση μπορούν να συμβάλουν όσο το μισό του συνολικού προϋπολογισμού GHG των γεωργικών καλλιεργειών Adviento-Borbe et al., (2007).

2.2 Παραγωγή σπόρων αραβόσιτου

Η σποροπαραγωγή σαν επιστήμη και σαν εργασία είναι ο συνδετικός κρίκος των δύο μεγάλων κλάδων της γεωργίας ,της έρευνας και της εφαρμογής.

ΠΙΝΑΚΑΣ Εκπομπές CO_2 για την παραγωγή διάφορων σπόρων

Σπόρος	[1]Εκπομπές C kg C/kg σπόρου	[2]Εκπομπές CO_2 kg CO_2 /kg σπόρου
Αραβόσιτος	1.05	3.85

[1] T.O West et al.(2002), [2] 1kg of CO_2 = 0.273 kg C

2.3 Γεωργικά μηχανήματα

Για την κατασκευή των διάφορων μηχανημάτων το ενεργειακό κόστος υπολογίζεται με βάση τους παρακάτω πίνακες.

Πίνακας 1 Ποσοστό εκπομπών CO_2 για την κατασκευή τρακτέρ και του αγροτικού εξοπλισμού (Kg CO_2/MJ)

Ελκυστήρας	0.09
Εξοπλισμός	0.1

M. Safa et al.(2011)

Πίνακας 2 Ενέργεια που απαιτείτε από διαφορετικούς τύπους γεωργικών μηχανημάτων (MJ/kg)

Μηχάνημα/Εξοπλισμός	Ενέργεια (MJ/kg)
Ελκυστήρας	138
Άροτρο	180
Δισκοσβάρνα	149
Καλλιεργητής	133
Λιπαντήρας	129
Φρέζα	148
Μηχανή συγκομιδής	116

Bowers, W. 1992. Agricultural field equipment. Energy in farm production.

Από τον συνδυασμό του **πίνακα 1** και **πίνακα 2** παίρνουμε τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα για την κατασκευή των διάφορων μηχανημάτων ανά κιλό μηχανήματος.

Πίνακας 3 Εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα για την κατασκευή των μηχανημάτων και εξοπλισμού (kg CO_2/kg)

Μηχάνημα/εξοπλισμός	Εκπομπές CO_2 (kg CO_2/kg)
Ελκυστήρας	12.42
Άροτρο	18
Δισκοσβάρνα	14.9
Καλλιεργητής	13.3
Λιπαντήρας	12.9
Φρέζα	14.8
Μηχανή συγκομιδής	11.6

2.4 Καύσιμα

Τα καύσιμα είναι η πιο σημαντική κύρια πηγή εκπομπών CO_2.

Πίνακας 4 Εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα ανά λίτρο καυσίμου

	[1]Ενέργεια MJ/L	[2] Εκπομπές Kg CO_2/MJ	Εκπομπές Kg Co_2/L
Ντίζελ	47.8	0.0687	3.28386

[1]Saunders et al.(2006), [2] Baines (1993)

Με βάση τον **πίνακα 4** υπολογίζονται για κάθε καλλιεργητική εργασία οι εκπομπές του CO_2 στην ιδανική περίπτωση όπου τα μηχανήματα ολοκληρώνουν την εργασία για την παραγωγή αραβόσιτου με μια μόνο μετακίνηση στον αγρό.

Πίνακας 5

Εργασίες& μηχανηματα	[1]Δαπάνες καυσίμων	Εκπομπές CO_2	Εκπομπές CO_2
	L/ha	Kg CO_2/L	Kg CO_2/ha
Όργωμα	27	3.28386	88.66
Δισκοσβαρνα	7	3.28386	22.98
Καλλιεργητης	8	3.28386	26.27
Λίπανση	2	3.28386	6.56
Ισοπέδωση	4	3.28386	13.13
Σπορά	5,5	3.28386	18.06
Σκάλισμα	2	3.28386	6.56
Ψεκάσματα	1,5	3.28386	4.92
Συγκομιδή	18	3.28386	59.10
ΣΥΝΟΛΟ			**246.28**

[1]Kitani (1999)

Με βάση τις αναφορές του M. Safa et al (2011) για τη κίνηση στο δρόμο ντίζελ μέσου ξοδεύονται 0.079 L/tonne-km, άρα οι εκπομπές CO_2 ανά τόνο μηχανήματος-χιλιομέτρων θα είναι:

0.079 *3.28386 = 0.25942 Kg CO_2/tonne-km

2.5 Λιπάσματα

Με βάση τα στατιστικά στοιχεία του FAO 2008 η παγκόσμια χρήση των γεωργικών λιπασμάτων αυξήθηκαν από 30,5 εκατ. τόνους το 1961, σε 102 εκατομμύρια τόνους, το 2002.Το Καλαμπόκι λόγω της μεγάλης ποσότητας βιομάζας που παράγει, απορροφά μεγάλες ποσότητες θρεπτικών στοιχείων, έτσι για την παραγωγή 1000kg καρπού καλαμποκιού ανά στρέμμα με βάση το Ινστιτούτου Σιτηρών Θεσσαλονίκης τα αποτελέσματα που έδωσαν ήταν: 19.4 kg αζώτου, 2.7 kg φωσφόρου , 13.8kg καλίου.

Πίνακας 6 Εκπομπές CO_2 για την παράγωγη-συσκευασία-αποθήκευση-διανομή λιπασμάτων

Λίπασμα	[1]Ενέργεια MJ/kg	[2]Εκπομπές kg CO2/MJ	Εκπομπές Kg CO_2/ kg λιπάσματος
N	78,1	0.05	3.9
P_2O_5	17,4	0.06	1.0
K_2O	13,7	0.06	8.2

[1] Kitani, [2] Saunders et.al (2006)

Πίνακας 7 Εκπομπές CO_2 παραγωγή 1kg σπόρου

Λίπασμα	Εκπομπές Kg CO_2/ kg λιπάσματος	Kg λιπάσματος /στρέμμα	Kg CO_2/ στρέμμα
N	3.9	19.4	0.07
P_2O_5	1.0	2.7	0.002
K_2O	8.2	13.8	0.11

2.6 Αγροτικές κατασκευές

Για τα αγροτικά κτίρια με βάση τον Wells (2001) ο οποίος υποθέτει μια ενεργειακή απαίτηση της τάξεως των 590 MJ/m^2 με τον συντελεστής εκπομπής να είναι 0,1 kg CO_2/ MJ.

Πίνακας 8

	Ενεργειακές απαιτήσεις MJ/m^2	Συντελεστ. Εκπομπής	kg CO_2/m^2
Κτίριο	590	0.1	59

2.7 Φυτοφάρμακα

Ως φυτοφάρμακα αναφέρονται μια σειρά από φάρμακα- χημικές ουσίες που δημιουργούνται με στόχο την αποτελεσματική καταπολέμηση των εχθρών των φυτών.

Πίνακας 9 Εκπομπές CO_2 από την παραγωγή, τη μεταφορά, την αποθήκευση

Φυτοφάρμακα	[1]Ενέργεια MJ/kg	[2]Εκπομπές CO_2/MJ	kg CO_2/kg
Ζιζανιοκτόνο	310	0.06	18.6
Εντομοκτόνο	315	0.06	18.9

[1,2] Saunders et al.,(2006)

2.8 Συστήματα άρδευσης

Η άρδευση είναι σημαντική για την επίτευξη υψηλών αποδόσεων σε άνυδρες περιοχές. Σε παγκόσμια κλίμακα, το 17% των αρδευόμενων καλλιεργειών οδηγεί σε 40% της συνολικής παραγωγής (Lal, 2004). Οι West and Marland (2002) εκτιμούν ότι οι εκπομπές από την άρδευση κυμαίνονται από 125-285 kg CE / ha / έτος. Υπολογίζοντας μια μέση τιμή των 205 kg CE / ha / έτος εκφρασμένη σε ισοδύναμα άνθρακα. Οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα προερχόμενες από την άρδευση των καλλιεργειών υπολογίζονται ως εξής : 1kg CO_2= 0.273 kg C οπότε τα 205 kg C αντιστοιχούν σε 750 kg CO_2 /ha/έτος

2.9 Ανθρώπινη εργασία

Σύμφωνα με διάφορες αναφορές όπως του Kitani (1999),η ανθρώπινη εργασία είναι ο μόχθος των εργαζομένων από τις γεωργικές διαδικασίες που διεξάγονται, η τιμή που αντιστοιχεί στην βιοχημική ενέργεια και για τα αρσενικά έχει υπολογίσει 1,96 MJ / h και για τα θηλυκά 0,8 MJ / h.

3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Με βάση τα παραπάνω στοιχεία για την παραγωγή 1 kg σπόρου καλαμποκιού εκπέμπονται 3.85 Kg CO_2. Για το στάδιο την σποράς στην καλλιεργούμενη έκταση χρειαζόμαστε περίπου 3 κιλά σπόρο/ στρέμμα δηλαδή (150kg σπόρο στα 5ha) εκπέμπονται 11.55 Kg CO_2/στρέμμα =115.5 Kg CO_2/ha. Έτσι σε μια έκταση των 5 εκτάρια(1 στρέμμα = 10ha) οι εκπομπές θα είναι 577.5 Kg CO_2 . Για να βελτιώσουμε την παραγωγή και να έχουμε απόδοση 1000kg σπόρου αραβόσιτου ανά στρέμμα κάνουμε χρήση λιπασμάτων. Οι εκπομπές από την χρήση των λιπασμάτων με βάση τα στοιχεία του Πίνακα 7 και για τα 5 εκτάρια θα είναι:

N : 0.7 Kg CO_2 /ha * 5 ha = 3,5 Kg CO_2

P_2O_5 : 0.02 Kg CO_2 /ha *5 ha =0.1 Kg CO_2

K_2O : 1.1 Kg CO_2 /ha *5 ha = 5.5 Kg CO_2

Αν για την αποθήκευση των 1000kg σπόρου που παράγαγε ο αγρότης χρησιμοποιεί κτίριο 10 m^2 οι κτιριακές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα ανέρχονται σε 590kg CO_2.Η επιλογή του κατάλληλου φυτοφάρμακου εξαρτάται από το καλλιεργούμενο προϊόν και το βαθμό του προβλήματος που πρέπει να αντιμετωπιστεί. Τα 300 γραμμάρια φυτοφαρμάκου ανά στρέμμα αρκούν γιατί ανάμεσα στις γραμμές μπορούμε να επέμβουμε με μηχανικά σκαλιστήρια. Έτσι οι εκπομπές CO_2 από την παραγωγή, τη μεταφορά, την αποθήκευση των 0.3 kg στο στρέμμα (δηλαδή 15 kg στα 5 ha) θα είναι 18.6 kg CO_2/kg * 15 kg =279 kg CO_2.

Οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα για τα 5 ha που μελετάμε θα είναι 3,750.0 kg CO_2. το έτος.

Η συμμετοχή της μετακίνησης των μηχανημάτων από όσα προηγήθηκαν στις συνολικές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα για την περάτωση των διάφορων εργασιών εντός του αγρού, με βάση τον Πίνακα 5 για τα 5 ha οι εκπομπές θα είναι:

246.28 Kg CO_2/ha * 5 ha =1,231.4 kg CO_2

4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Όλες οι πηγές άνθρακα είναι δυνατόν να ομαδοποιηθούν σε πρωτογενή, δευτερογενή και τριτογενή πηγές (Gifford, 1984). Όπου οι πρωτογενείς πηγές εκπομπών άνθρακα είναι είτε λόγω της κινητής λειτουργίες ή σταθερές (π.χ., όργωμα άντληση νερού). Οι δευτερογενείς πηγές περιλαμβάνουν παρασκευή, συσκευασία και αποθήκευση των λιπασμάτων/ φυτοφαρμάκων και οι τριτοβάθμιες πηγές που περιλαμβάνουν την απόκτηση των πρώτων υλών και την κατασκευή του εξοπλισμού και των κτιρίων της εκμετάλλευσης. Σε αυτό το σημείο είναι ορθό να γίνει αναφορά στα διάφορα συστήματα κατεργασίας του εδάφους καθώς η εναλλαγή τους μπορεί να συμβάλει στην μείωση των εισροών. Τα συστήματα κατεργασίας είναι τα εξής: Μειωμένη κατεργασία (RT) κατά αυτή τη μέθοδο γίνεται μερική κατεργασία του εδάφους η οποία αφήνει στο έδαφος το 40% των φυτικών υπολειμμάτων**.** Μη άροση (NT) κατά αυτό διενεργείται κατευθείαν η σπορά με ειδικές σπαρτικές μηχανές. Ελεγχόμενη γεωργία Κυκλοφορίας (CTF) όπως ορίζεται από τον Yule (1998) είναι ένα σύστημα καλλιέργειας που βασίζεται σε μόνιμα ίχνη των τροχών με στόχο τη διαχείριση της απορροής. Σε σύγκριση με την ελεγχόμενη γεωργία CT, η συνολική εξοικονόμηση ενέργειας είναι 10% με την RT και το 32% με το NT (Borin et al., 1997).

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Οι λιγότερο εντατικές μέθοδοι καλλιέργειας οδηγούν στην μείωση της κατανάλωσης καυσίμου, αυτό επιτυγχάνεται με καλό σχεδιασμό της παραγωγής για τη μείωση των ταξιδιών. Σε ότι αφορά τα αγροτοχημικά προϊόντα η βελτίωση της αποτελεσματικότητας της χρήσης τους και η εξεύρεση εναλλακτικών λύσεων οδηγούν στη μείωση των εκπομπών CO_2.Κατά την κατασκευή των γεωργικών μηχανημάτων ο πράσινο κινητήρας και νοείται ο κινητήρας που καταναλώνει λιγότερα καύσιμα, κατασκευή γεωργικών τρακτέρ με αυξημένη χρήση ανακυκλωμένου χάλυβα και η σωστή συντήρηση των φορτηγών, τρακτέρ, και ρυμουλκούμενα συμβάλουν στην μείωση των εκπομπών. Καταλήγοντας φαίνεται ότι η διαχείριση των γεωργικών εκμεταλλεύσεων είναι ο βασικότερος παράγοντας για τα προγράμματα μείωσης των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα . Η αναποτελεσματική διαχείριση και η έλλειψη εμπειρίας μπορεί και αποδίδει σημαντικές εισροών που συνδέονται με την ρύπανση των υδάτων, του αέρα και γενικότερα του περιβάλλοντος.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Περιοδικά

Adviento-Borbe, M.A.A., Haddix, M.L., Binder, D.L., Walters, D.T., Dobermann, A., 2007. Soil greenhouse gas fluxes and global warming potential in four highyielding maize systems. Glob. Change Biol. 13:1972–1988.

Borin, M., Menini, C., Sartori, L., 1997. Effects of tillage systems on energy and carbon balance in northeastern Italy. Soil Tillage Res;40:209– 26.

Lal, R., 2004. Carbon emission from farm operations. Environment International, 30:981-990.

Safa, M., Samarasinghe, S.,Mohssen, M., 2011. A field study of energy consumption in wheat production in Canterbury, New Zealand, Elsevier, Energy Conversion and Management Journal, 52(7): 2526-2532

Saunders, C., Barber, A. and Taylor, G., 2006. Food Miles – Comparative Energy/Emissions Performance of New Zealand's Agriculture Industry, Agribusiness and Economics Research Unit, Research Report 285.

Tullberg, J., 2010. Tillage, traffic and sustainability-A challenge for ISTRO. Soil and Tillage Research, 111(1):26-32

Wells, C., 2001. Total energy indicators of agricultural sustainability: dairy farming case study. Technical paper 2001/3. Ministry of Agriculture and Forestry, Wellington, New Zealand.

West, T.O., Marland, G., 2002. A synthesis of carbon sequestration, carbon emissions, and net carbon flux in agriculture: comparing tillage practices in the United States. Agriculture, Ecosystems & Environment, 91(1-3):217-232

Κεφάλαια βιβλίων

Baines, J.T. 1993. New Zealand Energy Information Handbook. Taylor Baines and Associates: Christchurch.

Bowers, W., 1992. Agricultural field equipment. In: Fluck, R.C.(Ed.), Energy in World Agriculture, Vol. 6. Elsevier, New York

Gifford RM., 1984. Energy in different agricultural systems: renewable and nonrenewable sources. In: Stanhill G, editor. Energy and agriculture.

Kitani O., 1999. CIGR Handbook of Agricultural Engineering. Vol, V, Energy and Biomass. Engineering. ASAE publication, ST Joseph, MI.

Li, Y., 2001. Traffic and tillage effects on trial and cropping systems – a field and simulation study. PhD Thesis, University of Queensland

Smith, P., Martino, D., Cai, Z., Gwary, D., Janzen, H. Kumar, P., McCarl, B., Ogle, S. O'Mara, F., Rice, C., Scholes, B., Sirotenko, O., 2007. Agriculture. In: B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave and L.A. Meyer (Editors), Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Πρακτικά Συνεδρίων

Yule, D.F., 1998. Controlled traffic farming-the future. Paper presented at the Proceedings of Second National Controlled Traffic Conference, Gatton, Australia

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΕΥΡΩΠΑΪΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΩΝ ΑΓΡΟΧΗΜΙΚΩΝ - ΠΙΛΟΤΙΚΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Δημήτριος Μπριασούλης, Μιλτιάδης Χισκάκης, Χρήστος Μπριασούλης
Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής, Ιερά Οδός 75, 11855, Αθήνα
briassou@aua.gr, hiskm@aua.gr, chribri@aua.gr

Η κακοδιαχείριση των αποβλήτων πλαστικών συσκευασιών των αγροχημικών (ΑΠΣΑ) αποτελεί μια από τις βασικές αιτίες ρύπανσης του εδάφους, του αέρα και των υδάτινων πόρων και θέτει σε κίνδυνο όχι μόνο το περιβάλλον αλλά και την ασφάλεια των προϊόντων και τη δημόσια υγεία. Μέθοδοι για τη διαχείριση των ΑΠΣΑ έχουν καθιερωθεί σε κάποιες Ευρωπαϊκές χώρες τα τελευταία χρόνια. Τα εφαρμοζόμενα διαχειριστικά σχέδια για τα ΑΠΣΑ είναι όμως ασύμβατα ενώ οι συνθήκες λειτουργίας τους και τα κριτήρια θα μπορούσαν να βελτιωθούν. Σε πολλές άλλες χώρες το πρόβλημα της διαχείρισης των ΑΠΣΑ δεν έχει αντιμετωπιστεί, με αρνητικές συνέπειες για το περιβάλλον και τη δημόσια υγεία. Ανταποκρινόμενο σε αυτά τα προβλήματα το Ευρωπαϊκό πρόγραμμα *AgroChePack* ανέπτυξε ένα καινοτόμο, αποτελεσματικό, φιλικό προς το περιβάλλον και οικονομικά βιώσιμο Ευρωπαϊκό διαχειριστικό σύστημα αποβλήτων πλαστικών συσκευασιών αγροχημικών μέσω μεταφοράς τεχνογνωσίας και εμπειρίας από τα υπάρχοντα συστήματα και αξιολόγησής του μέσω πιλοτικών δοκιμών σε πέντε χώρες. Η παρούσα εργασία παρουσιάζει τις βασικές αρχές σχεδιασμού του συστήματος διαχείρισης ΑΠΣΑ που αναπτύχθηκαν στα πλαίσια του έργου *AgroChePack* μέσω του προσδιορισμού προβλημάτων και δυσλειτουργιών που αντιμετωπίζουν τα υπάρχοντα σήμερα συστήματα στην Ευρώπη, της ανάπτυξης του ολοκληρωμένου συστήματος διαχείρισης ΑΠΣΑ, και της πιλοτικής εφαρμογής του, καθώς και της αξιολόγησης και βελτιστοποίησης του με πιλοτικές δοκιμές στην Ελλάδα.

Λέξεις κλειδιά: αγροχημικά, συσκευασίες, επικίνδυνα απόβλητα, ανακύκλωση

DESIGN OF A EUROPEAN AGROCHEMICAL PLASTIC PACKAGING WASTE MANAGEMENT SCHEME – PILOT IMPLEMENTATION IN GREECE

Demetres Briassoulis, Miltiadis Hiskakis, Christos Briassoulis
Laboratory of Farm Structures, Agricultural University of Athens, Department of Natural Resources Management and Agricultural Engineering, Iera Odos 75, 11855, Athens
briassou@aua.gr, hiskm@aua.gr, chribri@aua.gr

Mismanagement of Agrochemicals Plastic Packaging Waste (APPW) constitutes a major environmental problem, resulting in the pollution of soil, air and water resources and compromising the agricultural products safety, the protection of the environment and the public health. Systems for the management of APPW have been established in some European countries and they are operational for several years now. However these schemes are incompatible while their operational conditions and technical criteria could be improved. In many countries no schemes exist yet for the management of APPW with serious negative consequences for the environment and public health. In response to these problems the European project *AgroChePack* has developed an environmental friendly, economically viable European APPW management scheme by transferring know-how from existing schemes, designing a new integrated APPW management scheme and testing it through pilot trials in five countries. This work presents the basic design principles established by *AgroChePack* by identifying problems and bottlenecks faced by existing schemes in Europe, by developing an integrated APPW scheme and by implementing, evaluating and optimising this scheme through pilot trials in Greece.

Keywords: agrochemicals, packaging, hazardous, waste, recycling

1. INTRODUCTION

Mismanagement of Agrochemicals Plastic Packaging Waste (APPW) constitutes a major environmental problem, resulting in pollution of soil, air and water resources and compromising the agricultural products safety, the protection of the environment and public health. Some schemes for the management of APPW have been established in a few European countries, as in Germany (*Pamira*), France (*Adivalor*), Spain (*Sigfito*). However, these schemes are incompatible with each other while they are not combined in a synergic way with the management of other Agricultural Plastic Waste (APW) categories to optimise use of resources, increase efficiency, and reduce cost. In many countries (e.g. Greece, Italy, Cyprus) no schemes exist for the management of APPW with serious negative consequences for the environment and public health.

This work presents the basic design principles established by the *AgroChePack* project (*AgroChePack*) aiming at the environmental friendly and economically viable APPW management scheme in Europe. The five participating Mediterranean European countries (Greece, Italy, Cyprus, Spain and France) are among the major European consumers

of agrochemicals, with large agricultural areas. They consumed 20.6 kg/ha of agrochemicals in 2003 (Eurostat, 2007) while during the last years this amount increases steadily. According to Eurostat (Eurostat, 2007), France, Spain and Italy are the major consumers of plant protection product (PPP) in EU (nearly 75% of the total of 220.000 t of PPP used in EU-25). As a result a high volume of packaging is used that should be valorised through recycling or energy recovery if not recyclable.

AgroChePack (*AgroChePack*) aimed to develop an integrated, efficient, environmentally friendly and economically viable APPW management system in Europe by transferring know-how from existing schemes and by promoting synergy with the *LabelAgriWaste (LabelAgriWaste)* project (APW). This new integrated APPW management scheme was designed piloted in five EU countries.

In this article the design principles of the *AgroChePack* APPW management scheme and its pilot implementation in Greece are presented.

2. THE AGROCHEPACK SCHEME

2.1. Design principles of the *AgroChePack* APPW management scheme

The basic design principles established by *AgroChePack* (*AgroChePack*) in terms of safety, efficiency & cost include:

a. Decontamination: Development of a protocol for rinsing and decontaminating APPW in order to characterize them as non-hazardous waste.
b. Control: Development of a secure mechanism to assure effectiveness of the rinsing method.
c. Sorting: Sorting and separation of cleaned APPW to homogenous materials categories.

The *AgroChePack* system integrates several key technical procedures developed in support of the basic design principles as follows:

a) Decontamination of the APPW and control:

- Definition and application of a reliable, scientifically justified, decontamination methodology that ensures meeting the relevant EU legislation criteria for non-hazardous waste
- Design and implementation of a simple, reliable traceability scheme
- Establishment of a quality assurance scheme (guidelines, check points, sampling and testing)

b) Sorting the decontaminated APPW at the source to homogeneous material piles:

- Identification of recyclability criteria and definition of sorting categories
- Grouping of non-recyclable APPW that comply with ASF for energy recovery specs

The aim of the design principles is to achieve the best exploitation of the collected APPW by:

- Enhancement of recycalbility of collected APPW
- Minimisation of non-recyclable APPW

The development of the *AgroChePack* scheme followed three steps at regional level:

- Quantified analysis of the APPW generation
- Design of the APPW management logistics and infrastructure
- Pilot implementation, evaluation, optimization

2.2. Mapping of APPW generation

To design the scheme for a specific region, it is important to know the waste generation map including the temporal-spatial distribution of APPW generation. *AgroChePack* starts with the dominant cultivations for the area. Then, the key parameters needed to estimate the APPW generation are quantified: type/dosage of main agrochemicals used per cultivation, application time, material and size of package for each agrochemical. The final outcome is the quantified temporal-spatial APPW generation (weight and volume per material category per month).

2.3. Design - Decontamination of APPW

2.3.1. Decontamination methodology

In May 2008, the FAO/WHO published *"Guidelines on Management Options for Empty Pesticide Containers"* (FAO/WHO, 2008) recommending properly rinsed containers that have been inspected as non hazardous. In the United States, the federal Resource Conservation and Recovery Act (RCRA) of 1976 makes it illegal to dispose of any pesticide or pesticide-related waste by burning, dumping, or well injection (EPA, 1976). Any container with unused pesticide, including residue, is considered to be hazardous waste which may harm humans, animals or the environment. However, properly rinsed containers are not considered hazardous waste and can go to an approved recovery/recycling centre or to landfill.

In Europe, threshold concentrations have been set for the different categories of active ingredient. The limits depend on the hazardous nature of the active ingredient concerned. Waste consignments containing active ingredient concentrations below these limits are classified as non hazardous. The concentration of the active ingredient is expressed as a percentage of the total weight of the waste consignment. There is a wide range of threshold limits with the lowest European limit being 0.1% w/w for 'Very Toxic' active ingredients (CropLife International, 2010). The European Waste Catalogue (EWC) (EPA, 2002) links the classification of certain hazardous waste categories to the concentrations of dangerous substances within the waste. The two lowest threshold EWC limits are (ECPA, 2007):

- *"one or more substances classified as very toxic at a total concentration ≥0.1%"*
- *"one or more substances classified as toxic at a total concentration ≥3.0%"*

A weakness of the existing APPW management schemes is that in some, the tripled rinsed APPW are classified as hazardous whereas in others as non-hazardous (EPA, 2002). The cost for managing hazardous waste is prohibitable.

According to ECPA (ECPA, 2007), effective rinsing of packs is achieved either by manual triple rinsing or mechanical integrated pressure rinsing (equipment is present in modern pack and sprayer designs (ECPA, 2005)). The quantity of dangerous

substances that remains in the container, either as residue after rinsing or migrated into the plastic, determines the classification of the empty container based on the EWC limits.

It has been scientifically proven that the triple rinsing methodology can decontaminate effectively APPW (CropLife International, 2004, 2010). The results of another study by ECPA (ECPA, 2007) indicated that the total amount of active ingredient in correctly rinsed containers remains well under the threshold for very toxic substances of 0.1% w/w set by the EWC. According to CropLife (CropLife International, 2004), triple rinsing removes more than 99.99% of contaminating residue when applied to containers made of appropriate material (such as High Density Polyethylene). A key point in the success of *AgroChePack* is to ensure that the APPW is properly triple rinsed. According to *AgroChePack*: Firstly, the triple rinsing procedure must start immediately after the application of the agrochemical to avoid solidification of the agrochemical. Secondly, the person who will apply the rinsing must be appropriately trained on the methodology of triple rinsing. Only trained farmers are accepted to the *AgroChePack* APPW management scheme.

2.3.2 Quality assurance - Traceability

Qualiy assurance with respect to decontamination is ensured in *AgroChePack* through sampling and hazardousness analysis of the collected sample. The proper implementation of hazardousness analysis requires the development of the sampling methodology. The scope of the sampling methodology is to define where and how and which sample quantity to collect, to assure the sample represents the APPW pile.

The traceability scheme consists of: The registration of the farmers who participate to the *AgroChePack* scheme and their training, and the recordkeeping of the data of the triple rinsed agrochemical packages used, and were accepted to the scheme. A database of the participating farmers is generated and appropriate managers assume responsibility for the recordkeeping. It is expected that the traceability scheme will eliminate illegal agrochemicals or mismanagement of agrochemical packages as the relevant legislation will be enforced. The traceability scheme will also allow transparency through quantification of the collected and recycled APPW, to justify funding of the scheme by the relevant national recycling agency.

2.4. Design - Sorting of decontaminated APPW

2.4.1 Recyclability of APPW

The aim of the *AgroChePack* scheme was to achieve the best exploitation of the collected APPW by enhacmenet of the percentage and quality of the decontaminated APPW in terms of recycalbility. *AgroChePack* sorts the containers according to their composition into 2-3 main categories. The sorting depends on the range of the most common packages used in the specific region where the scheme is applied (e.g. *"HDPE" (High Density Polyethylene), "COEX" (Coextruded), "CAPS" (caps of containers*) and the category "*Others*". The last one includes packaging materials not belonging to the first two main categories. The majority of APPW materials collected and decontaminated belongs to categories *HDPE/ COEX*.

In cases of packaging of unknown composition commonly used in a specific region, the safest way is to conduct an ATR-FTIR on both surfaces of containers (often a thin interior coating of a different material than the bulk material is used as barrier) and identify the main components from these spectra. In the cases of *COEX* containers, usually in the form of PE/EV (polyethylene/ethylene vinyl) and PE/PA (polyethylene/polyamide), a relatively high proportion of the secondary component (EV and PA in this case) in the matrix could compromise the recyclability of the container. The criteria for the *COEX* packages that can be recycled follow the corresponding specs of the *LabelAgriWaste* project (*LabelAgriWaste,* Briassoulis et al., 2013). If needed, a DSC (differential scanning calorimetry) analysis of the container could provide a good estimation of the recyclability of APWW containers.

2.4.2 Energy recovery criteria concerning APPW

The decontaminated packages that do not fulfil the criteria for recycling (category "*Other*") can be directed to industry for energy recovery. Industries, especially cement kilns that have high temperature kilns and have obtained license for using these plastics as alternative solid fuels can use the decontaminated APPW that cannot be recycled, as alternative fuel. The priority of the *AgroChePack* scheme is mechanical recycling. Energy reovery is considered an option only for non-recyclable APPW.

2.5. Design of the scheme's infrastructure

The implementation of the APPW management scheme is based on the particularities of the region. In cases of small farms with use of small capacity sprayers, the farmers are obliged to apply the triple rinsing by their own at the farm without any supervision and deliver the triple rinsed containers to the managers at designated collection stations. The managers are responsible for bringing the collected clean APPW to a regional central collection station. The whole chain is controlled through the established traceability system. In other cases, farmers use large capacity sprayers mounted on large size tractors destined for fields of arable crops. In each geographical region, the *AgroChePack* design of the infrastraucture is based on the temporal and spatial distribution of the APPW generated in the region.

2.6. Pilot implementation of the APPW scheme

In the framework of *AgroChePack*, alternative pilot schemes of the system that meet regional particularities were designed. The pilot schemes were tested in five countries (*AgroChePack*). In Greece, the *AgroChePack* scheme was pilot

implemented in the arable land of the municipality of Visaltia (*AgroChePack*).

3. *AGROCHEPACK* PILOT TRIALS IN GREECE

3.1. Mapping and analysis of APPW generation

A major difficulty encountered during the mapping of the APPW in the case of Visaltia was the lack of official and reliable statistic data. The needed information was obtained through interviews and information provided by local agronomists or retailers. The data collected were cross checked to provide a good quantitative estimate of the current situation.

Temporal - spatial quantities distribution of APPW were calculated per agrochemical type and agrochemical package material expressed in terms of containers volume and weight to be disposed at specific time (month) and specific location. Figure presents an example of the temporal - spatial distribution of the generated APPW materials in the case of the Municipal Department of Flabouro.

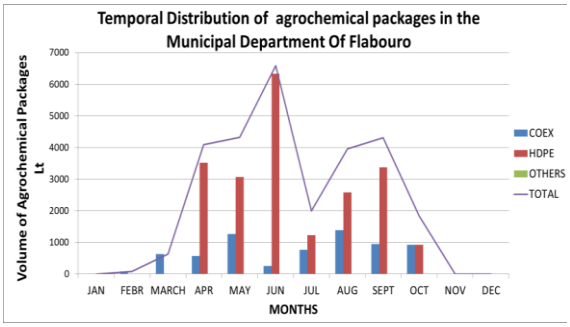


Figure 1: Temporal distribution of APPW volume generation in the municipal department of Flabouro

3.2. Design of the pilot *AgroChePack* scheme's infrastructure in Greece

In the case of the municipality of Visaltia, the majority of the farmers use large capacity sprayers mounted on large size tractors. They fill their sprayers with the agrochemicals in specific water supply points constructed for that purpose. Based on the mapping and quantified analysis of APPW generation in the region, two water supply points (in the municipal departments of Flabouro and Patrikio) were selected to serve for the decontamination and temporal storage of the empty packages and the first level quality control and traceability of the system. The selected water supply points were transformed into *AgroChePack* pilot local collection stations of the municipality of Visaltia (Figure). The local stations were designed and constructed to facilitate movements of large tractors with sprayers and improve the ergonomy of the infrastructure of the water supply for triple rinsing and they are fenced. The *AgroChePack* local collection stations include a small protected storage facility specially designed for the sorting, recording and the temporal storage of the collected APPW. The pilot stations were in operation for eight months for data collection, monitoring and optimisation of the system. A central APPW consolidation station was designed and constructed at the location of the consolidation station of the recyclable municipal waste (Figure 2).

3.3. Sorting, Labelling & Storage

According to the proposed APPW management scheme the package material was the key element used to sort the collected decontaminated APPW into four categories. The bags of the fertilizers formed a separate homogeneous pile. The collected APPW of each material category were placed in labelled designated plastic bags inside the storage area of the local collection stations. Information about the period of APPW collection, the code of the station and the material category of APPW was recorded on each bag for traceability purposes. These data were also kept in the files of the station.

Figure 2: The *AgroChePack* pilot local collection station of Patrikio and the central consolidation station (Mun. of Visaltia)

3.4. Operational protocol of the stations

Systematic dissemination and training is required for the correct operation of the stations. The local collection stations collect agrochemical containers that are triple rinsed on site and containers decontaminated by the registered - trained farmers on their own responsibility. The decontaminated containers are placed in designated bags according to their composition under the guidelines of the supervisor. The supervisor provides the farmer with a certificate of compliance. When the volume of the stored decontaminated agrochemical packages in the local collection station reaches a predefined level, they are transported to the central consolidation station where they are recorded and stored, once again sorted in the four homogenous categories. From the central consolidation station the APPW are delivered to the final disposers for recycling ("*HDPE", "COEX", "CAP"*) or for energy recovery ("*Other"*), when the collected APPW reaches a certain quantity.

3.5. Decontamination of the collected APPW

The efficiency of APPW decontamination through the pilot trials was evaluated by implementing

alternative sampling and analysis methodologies. Lab tests were conducted independently by the *AgroChePack* teams of the University of Lleida and the Agricultural University of Athens, in collaboration with Benaki Phytopathological Institute (*BPI*), to verify the reliability of the triple rinsing methodology appied through the pilot trials. The results of the tests confirm that the triple rinsing method is easy to apply by trained farmers (under supervision) and that when applied correctly it meets the relevant thresholds set by the European Waste Catalogue.

The existing analysis methodologies of decontaminated APPW to characterise them as non-hazardous waste according to the EU hazardous waste provisions were also evaluated. The inter-laboratory tests aimed at the scientific verification of characterizing appropriately triple-rinsed APPW as non-hazardous waste, according to EWC provisions.

3.6. Sampling methodology

In the absence of pilot data and based on the scarce literature data a sampling methodology was established based on the analysis of the samples collected at the pilot stations. It consists of the sampling of APPW stored at the consolidation station: all plastic bags to be inspected visually for contamination; the ones with possible contaminated products to be opened and sample from it the ones that appear to be the most contaminated; a minimum of 3 containers to be taken from bags coming from each local station and sent for analysis.

At least one out of five bags arriving at the consolidation station, are to be rolled and visually inspected to contain homogeneous material.

3.7. Hazardousness laboratory analyses of APPW

Experimental laboratory hazardousness analysis was conducted at the facilities of BPI to define the details of the triple rinsing procedure that will effectively decontaminate any container and agrochemical substance and test the analytical laboratory methods used to detect accurately the hazardousness of the triple rinsed container.

The most difficult to rinse agrochemicals were chosen from the list of the most commonly used ones in the area of interest (Visaltia) in order to assure the efficiency and universality of the procedure. For this reason viscous components and solid dispersions in oils (OD) and solid suspensions (SC) as well as solid powders were selected (Briassoulis et al., 2012). The triple rinsing procedure was tested by rinsing the emptied container three times with water using the protocol established by *AgroChePack*. The analysis of the empty containers, done by BPI in collaboration with AUA, proved that the detected active ingredient remains are several orders of magnitude bellow the hazardousness threshold limits defined by EEEC regulations. The remains in all cases were found to be even below the strictest threshold of 0.1% w/w, applicable to very toxic agrochemicals. Possible absorption of agrochemicals in the plastic matrix of the container was also investigated to ensure that such a possibility cannot influence the hazardousness analysis results. This was investigated by scraping the interior surface of the containers already rinsed by the solvent. The scrapings were rinsed with solvent to detect and quantify the presence of active ingredients. The analysis of the scrapings confirmed that in all cases the quantities absorbed by the most affected thin internal layer of the plastic matrix remain below the strictest threshold of 0.1% w/w applicable to very toxic agrochemicals. When these quantities are normalised to the total APPW quantity the absorption effect of the remains appears to be insignificant.

During the pilot trials, at the consolidation station, twenty of the most visually contaminated containers were sampled in duplicate. Emphasis was put on sampling also the most toxic products (lower threshold limit 0.1 % w/w). From each pair, one of the containers was sent for analysis to the University of Lleida while the other was analysed by BPI. BPI analysed the interior surface of the bottle and after scrapping, the interior surface scrapings for absorbed active ingredient remains. At University of Lleida they analysed the interior surface remains and then they pulverised the entire container and extracted any remains absorbed by the plastic. The remains in all containers were analysed by the University of Lleida (20 containers with 22 different substances) below the threshold limit. Table 1 presents the results of the first 14 containers analysed by BPI (the analysis of the remaining containers is in progress). The most contaminated container was found to be a specific container with *propargite* at 0.64% w/w (threshold limit for this agrochemical is 1.0% w/w; Table 1). The remains in another container with the same substance *propargite* were found at 0.01%. The traceability system revealed that the first one was tripled rinsed outside the pilot station and no ID number was found on the container. A second contaminated container with the substance *Fluometuron* at 1.51% w/w (threshold limit for this agrochemical is 10% w/w). Even though no container was found with remains exceeding the hazardousness threshold limits, these two cases suggest that:

1. Containers rinsed without supervision should at least be inspected by the supervisor before been accepted to the system
2. Containers without farmers' traceability code on them should be rejected; if identified, the farmer should be issued a strong warning.

4. CONCLUSIONS

The design principles of an optimized integrated waste management system (*AgroChePack*) for the APPW chain in Europe are presented. The APPW management system, covering all the steps after the usage of the agrochemical until the final receiver, aims to channel the majority of the decontaminated APPW to recycling and the non-recyclable to industry

for energy recovery as alternative solid fuel. The pilot implementation of the *AgroChePack* system in Greece has been used to investigate the performance of the APPW management protocols, including decontamination and traceability. The hazardousness analysis of the triple rinsed containers collected from the pilot trials confirmed the laboratory experiments results suggesting that the appropriate application of the triple rinsed technique of the containers by trained farmers, ensures their decontamination and their characterisation as non-hazardous waste according to the EWC provisions.

Table 1: Hazardousness analysis results of containers sampled from the pilot trials

Commercial Name /Formulation	Active Ingredient	Remaining ingredients		Classification R-phrases (EWC, 2002) / Hazardous Waste Threshold Limits (% w/w)
		rinsed APPW (% w/w APPW)	rinsed APPW wall scrapings (% w/w scrapings)	
Sulcotrek SC	Terbuthylazine 32.7% β/o Sulcotrione 17.3% β/o	0.0366	0.0010	R43, R63, R50/53, **N, Xn (1%)**
Stomp aqua CS	Pendimethalin 45.5% β/o	0.0049	0.0450	R50/53, **N (25%)**
Jaguar 5 EC	Quizalofop-p-ethyl 5% β/o	0.0014	0.0010	R10, R20/21, R36/38, RO3, R51/53, R41, R22, R37, R50/53, **Xn, N (25%)**
Propargite Farma Chem 57 EC	Propargite 57%β/o	0.6407	0.0320	R23, R38, R40, R41, R50, R53 **Xn, N (1%)**
Oligor 40 EC	Dimethoate 40% β/o	0.0057	0.0057	R10, R20, R21, R25, R36/37/38, RO1, RO6, RO11/13/15 **Xn, Xi (3%)**
Assist 10 EC	Cypermethrin 10% β/o	0.0200	0.0144	R22, R38, R41, R67, R65, R50/53 **N, Xn (10%)**
Record 8/8 EC	phenmedipham 8% β/o desmedipham 8% β/o	0.0005	0.0003	R20, R22, R36/37, R40, R50/53 N, Xn **(1%)**
Dorian 50 SC	terbuthylazine 50% β/o	0.0156	0.0019	R22, R50/53, **Xn, N (25%)**
Harness 84 EC	acetochlor 84% β/o	0.0034	0.0224	R20/22, R37/38, R40, R43, R48/22, RO3, R50/53, **Xn, N (1%)**
Cottonex 50 SC	fluometuron 50% β/v	1.5093	0.0008	R22, R50/53, **N (25%)**
Lufenuron Farma Chem 5 EC	lufenuron 5% β/o	0.0066	0.0033	R10, R20, R41, R43, R65, RO3, R50/53, Xn **N (1%)**
Nicogan 4 SC	nicosulfuron 4% β/o	0.0054	0.0021	R38, R50/53, **Xi, N (20%)**
Bauman 57 EC	propargite 57% β/o	0.0240	0.0056	T, R10, R21, R23, R38, R40, R41, **Xn, Xi (1%)**
Cyperkill 10 EC	cypermethrin 10% β/o	0.0115	0.0161	R10, R22, R36/37/38, R65, R67, R50/53, **Xn, N (20%)**

Acknowledgements: *This work has been done in the framework of the project: AGROCHEPACK 2 G-MED09-15, co-financed by the European Regional Development Fund and National Funds. Thanks are due to Mr. D. Giannopoulos for the technical support. Special thanks are due to Ms. H.Karasali of BPI, in charge of the analysis of the agrochemicals remains*

REFERENCES

Books

ECPA, Crop Protection Plastic Containers, The case for a non-hazardous waste classification, 2007, ECPA, 1160 Brussels - Belgium

EUROSTAT Statistical Books: The use of plant protection products in the European Union Data 1992-2003, European Commission, Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2007

Conference Papers

D. Briassoulis, M. Hiskakis, E. Babou, 'Technical Specifications for Mechanical Recycling of Agricultural Plastic Waste', Waste Management, 32 (2013) 1075–1090

D.Briassoulis, M.Hiskakis, C.Briassoulis, C-0296 Design of a common European Agricultural Plastic Packaging Waste Management System in Europe. Proceedings of the CIGR-AgEng 2012: International Conference of Agricultural Engineering, Valencia from 8 to 12 July

Brochures

CropLife International, Clean Farms: Sustainable packaging - The case for rinsing used pesticide containers, March 2010, CropLife International, 1050 Brussels, Belgium

CropLife International, Container Management – Safe and effective disposal of empty crop protection product containers, October 2004, CropLife International, 1050 Brussels, Belgium

Legislation & Regulations

FAO/WHO, "Guidelines on Management Options for Empty Pesticide Containers", International Code of Conduct on the Distribution and Use of Pesticides, FAO/WHO, Rome, May 2008

ECPA, Container Management Guidelines, Building effective and integrated strategies for packaging reduction, design, rinsing and recovery, 2005, ECPA 1160 Brussels - Belgium

EPA, Resource Conservation and Recovery Act, P.L. 94-580, 90 Stat. 2795, 42 U.S.C. § 6901 et seq., October 21, 1976. RCRA

Environmental Protection Agency, European Waste Catalogue and Hazardous Waste List, Published by the Environmental Protection Agency, Ireland, 2002, ISBN: 1-84095-083-8

Projects

Agrochepack, www.agrochepack.aua.gr

LabelAgriWaste, http://labelagriwaste.aua.gr

Institutions

Benaki Phytopathological Institute, www.bpi.gr/

APPW management systems

Pamira, http://www.pamira.de/

Adivalor, http://www.adivalor.fr/

Sigfito, http://www.sigfito.es/

ΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟ ΑΠΟΤΥΠΩΜΑ ΜΙΑΣ ΑΝΤΛΙΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

Δ. Αναστασίου και Γρ. Λαμπρινός
Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας, Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων & Γεωργικής Μηχανικής
Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Ιερά Οδός 75,Τ.Κ. 11855 Email: refrigenergy@aua.gr

Στην εργασία αυτή επιχειρείται μια προσπάθεια ποσοτικοποίησης και σύγκρισης του περιβαλλοντικού αποτυπώματος μιας αντλίας θερμότητας (ΑΘ) κύκλου συμπίεσης ατμών αέρα-αέρα , περιγράφοντας έτσι τον άμεσο αλλά και τον έμμεσο τρόπο συμβολής της στην ενίσχυση του Φαινομένου του Θερμοκηπίου, αναλόγως του εκάστοτε εργαζόμενου ρευστού που αυτή χρησιμοποιεί κατά τα στάδια λειτουργίας (χρήσης) & παροπλισμού της. Η συγκεκριμένη ΑΘ χρησιμοποιείται για την κάλυψη των αναγκών σε θέρμανση και δροσισμό σε ένα χοιροστάσιο-αναφορά βιομηχανικού τύπου με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά σε τρεις διαφορετικές, όσον αφορά τα κλιματικά δεδομένα, περιοχές της Ελλάδας (Φλώρινα, Χαλκίδα & Ιεράπετρα). Όσον αφορά τα ψυκτικά ρευστά, τα οποία στην ουσία αποτελούν τις τεχνολογίες σύγκρισης, αυτά επιλέχθηκαν έτσι ώστε να εκπροσωπείται σχεδόν κάθε κατηγορία συνθετικών αλογονανθράκων (R12, R22, R134a, R410A, R1234yf), ενώ τα φυσικά ψυκτικά ρευστά εκπροσωπούνται από την αμμωνία (R717). Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι για τα R1234yf & R134a οι συντελεστές θερμικής συμπεριφοράς (COP_{Θ}) κυμαίνονται από 1.7 (Φλώρινα) έως 3.2 (Ιεράπετρα), ενώ οι συντελεστές ψυκτικής συμπεριφοράς (COP_{Ψ}) από 5.1 (Ιεράπετρα) έως 5.8 (Φλώρινα). Στο θέμα διαστασιολόγησης της μονάδας (μέγεθος συμπιεστή), καλύτερη επιλογή για τη Φλώρινα και τη Χαλκίδα αποτελεί το R1234yf ακολουθούμενο από το R134a, ενώ στην Ιεράπετρα συμβαίνει το αντίστροφο. Τέλος, όσον αφορά την ετήσια τιμή του TEWI ($TEWI_A$), το R1234yf αποτελεί την καλύτερη επιλογή, ακολουθούμενο από το R134a.

Λέξεις κλειδιά: άμεσο, έμμεσο, ψυκτικό ρευστό, θέρμανση, δροσισμός, χοιροστάσιο, κλίμα, απόδοση

THE ENVIRONMENTAL FOOTPRINT OF A HEAT PUMP

D. Anastasiou and Gr. Lambrinos
Laboratory of Agricultural Engineering, Department of Natural Resources Management & Agricultural Engineering,
Agricultural University of Athens, 75 Iera Odos Street, GR-11855, Athens, Greece Email: refrigenergy@aua.gr

In this study is an attempt to quantify and compare the environmental footprint of an 'air-to-air' (& 'air-to-water' exclusively for ammonia) vapor compression cycle heat pump (HP), the measure of which is expressed by the environmental index TEWI, describing the direct and indirect contributing to Global Warming, depending on each individual working fluid (refrigerant) in 'use phase' & decommissioning throughout heat pump's life cycle. The analysed HP operates in (for heating/cooling) an industrial type standard swine farm of specific characteristics. The examined swine farm is considered to be located in three Greek regions corresponding to different climatic zones which are Florina, Chalkida and Ierapetra. Regarding refrigerants, which are essentially the technologies comparison, were chosen so as to be represented nearly every class of synthetic refrigerants (halocarbons) (R12, R22, R134a, R410A, R1234yf), while natural refrigerants are represented by ammonia (R717). From the conducted analysis was found that for refrigerants R1234yf & R134a the coefficients of heating performance (COP_H) rank from 1.7 (Florina) up to 3.2 (Ierapetra), while coefficients of cooling performance (COP_C) rank from 5.1 (Ierapetra) up to 5.8 (Florina). On the issue of dimensioning unit (compressor's size), R1234yf is the best choice for Florina and Halkida followed by R134a, while in Ierapetra vice versa. Finally, about the annual value of TEWI ($TEWI_A$), R1234yf is the best choice followed by R134a.

Key words: direct, indirect, refrigerant, heating, cooling, swine farm, climate, efficiency

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι ανθρωπογενείς δραστηριότητες, με κυρίαρχες εκείνες τις διεργασίες που λαμβάνουν χώρα για την παραγωγή (ηλεκτρικής κυρίως) ενέργειας μέσω της καύσης ορυκτών καυσίμων προκειμένου ο άνθρωπος να καλύψει τις ανάγκες του, καθώς και η χρήση ουσιών όπως οι CFCs και οι HCFCs, έχουν ως αποτέλεσμα τόσο την εξάντληση των ορυκτών πόρων όσο και τη ρύπανση της ατμόσφαιρας. Η ατμοσφαιρική ρύπανση συνοδεύεται και από την εμφάνιση μεγάλων περιβαλλοντικών προβλημάτων, δύο εκ των οποίων είναι η Τρύπα του Όζοντος και η ενίσχυση του Φαινομένου του Θερμοκηπίου.

Αυτό που πρέπει λοιπόν να ενδιαφέρει την ανθρωπότητα δεν είναι μόνο η εξοικονόμηση ενέργειας, η οποία βοηθά τόσο στη διατήρηση του ορυκτού πλούτου όσο και στη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που ανακύπτουν κατά τη χρήση συμβατικών τρόπων για την παραγωγή της, αλλά και η ταυτόχρονη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που δημιουργούνται από την κατανάλωση αυτής της ενέργειας στις διάφορες μηχανολογικές εφαρμογές, χωρίς αυτό να επηρεάζει την απόδοσή τους.

Πιο συγκεκριμένα, στον τομέα της θέρμανσης και του δροσισμού κλειστών χώρων, η αντλία θερμότητας (ΑΘ) με συμπίεση ατμών ψυκτικού ρευστού, που αποτελεί το πλέον χρησιμοποιούμενο είδος αντλίας θερμότητας, για να λειτουργήσει καταναλώνει ηλεκτρική ενέργεια, ενώ είναι άκρως

ανταγωνιστική σε σχέση με τα συμβατικά συστήματα που έχουν την ίδια ακριβώς αποστολή και καταναλώνουν κι αυτά ηλεκτρική ενέργεια, αφού μπορεί να εξοικονομηθεί τουλάχιστον το 50% της ενέργειας για θέρμανση (COPΘ ≥ 2) και το 75% της ενέργειας για δροσισμό (COPΨ ≥ 4) που αυτά θα απαιτούσαν, προκειμένου να καλύψουν τις ίδιες ανάγκες (Παπαγεωργίου, 2010; Παπαγεωργίου και Λαμπρινός, 2011α) Από τη στιγμή που χρησιμοποιούνται στην ΑΘ ως εργαζόμενα ρευστά ουσίες όπως οι HFCs που ανήκουν στα ανθρωπογενή αέρια του θερμοκηπίου, αυτή συμβάλλει όχι μόνο έμμεσα (γεγονός που το πράττουν όλα τα συστήματα, συμβατικά ή μη, που καταναλώνουν ηλεκτρική ενέργεια) αλλά και άμεσα στην ενίσχυση του Φαινομένου του Θερμοκηπίου. Επομένως, το περιβαλλοντικό της αποτύπωμα θα εκφράζεται μέσω του δείκτη "Συνολικής Ισοδύναμης Επίδρασης στην Παγκόσμια Θέρμανση" ΣΙΕΠΘ (Total Equivalent Warming Impact, TEWI), από τον υπολογισμό του οποίου εύκολα γίνεται αντιληπτό ότι το περιβαλλοντικό αποτύπωμα και το ενεργειακό αποτύπωμα σχετίζονται μεταξύ τους, με το πρώτο να εξαρτάται από το δεύτερο (Αναστασίου και Λαμπρινός, 2013). Σήμερα, οι ουσίες που προτείνονται για χρήση ως ψυκτικά ρευστά σε συστήματα όπως οι αντλίες θερμότητας, στη συντριπτική τους πλειοψηφία δεν είναι επιβλαβείς για το όζον (ODP = 0). Σε αυτές συμπεριλαμβάνονται οι HFCs, καθώς και φυσικά ψυκτικά ρευστά όπως οι HCs, η αμμωνία (NH_3), κ.ά.

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι ο υπολογισμός και η σύγκριση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος (TEWI) μιας αντλίας θερμότητας κύκλου συμπίεσης σε μια κτηνοτροφική μονάδα (χοιροστάσιο), πάντα μέσω της ενδεικνυόμενης μεθοδολογίας, της χρήσης των απαραίτητων υλικών και της υιοθέτησης των προβλεπόμενων παραδοχών, ώστε να εξαχθούν συμπεράσματα για την καταλληλότερη τεχνολογική επιλογή ψυκτικού ρευστού, από κλιματολογικής, ενεργειακής και περιβαλλοντικής απόψεως.

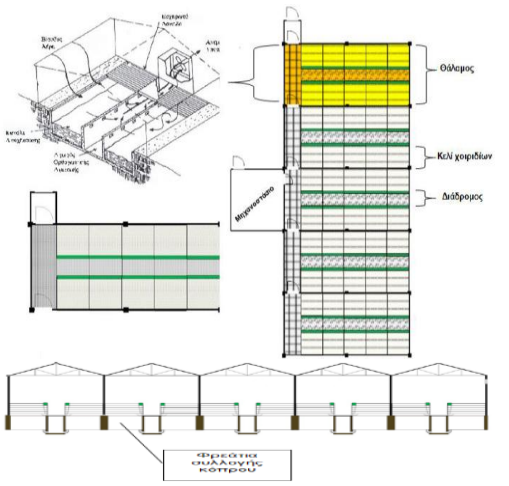
2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1. Υλικά

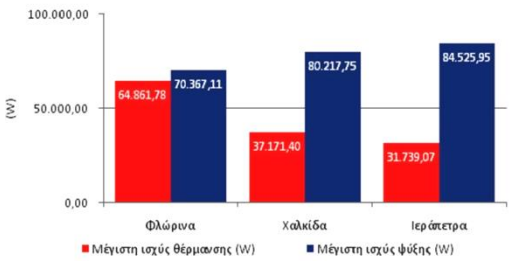
2.1.1. Το χοιροστάσιο

Το χοιροστάσιο-αναφορά για την εφαρμογή της ΑΘ, όπως αυτό αναφέρεται και αναλύεται από τους Παπαγεωργίου & Λαμπρινό (Παπαγεωργίου, 2010; Παπαγεωργίου & Λαμπρινός, 2011α; Παπαγεωργίου & Λαμπρινός, 2011β) είναι μεγέθους 350 χοιρομητέρων και παραγωγής 5,000 χοιριδίων α' ανάπτυξης ετησίως, σε τρεις διαφορετικές, όσον αφορά τα κλιματικά δεδομένα, περιοχές της Ελλάδας. Ο φέρων οργανισμός του κτηρίου αποτελείται από σιδηροδοκούς, ενώ οι τοιχοποιίες από πάνελ πολυουρεθάνης. Τα τελευταία αποτελούν μια εξαιρετικά αποτελεσματική λύση από πλευράς κόστους, χρόνου κατασκευής, ευκολίας καθαρισμού και, κυρίως, θερμομόνωσης. Ο ρυθμός παραγωγής είναι 100 χοιρίδια ανά εβδομάδα. Η διάταξη των χώρων στέγασης (Εικόνα 1) των αναπτυσσόμενων χοιριδίων περιλαμβάνει 5 θαλάμους, με δυνατότητα στέγασης 100 χοιριδίων ανά θάλαμο. Στους θαλάμους υπάρχει σταδιακή εναλλαγή θερμοκρασίας, ξεκινώντας από τους 30°C, όταν εισάγονται τα χοιρίδια, και κατεβαίνοντας ανά 2°C την εβδομάδα μέχρι τους 22°C, όταν τα χοιρίδια εξέρχονται για να οδηγηθούν στα επόμενα στάδια πάχυνσης. Σε ότι αφορά τη σχετική υγρασία, αυτή ρυθμίζεται ώστε να κινείται σε μια μέση τιμή της τάξεως του 55%.

Τα φορτία θέρμανσης (μέγιστες ποσότητες θερμότητας που πρέπει να προσφερθούν στους θαλάμους) καθώς και τα φορτία δροσισμού (μέγιστες ποσότητες θερμότητας που πρέπει να αφαιρεθούν από τους θαλάμους) για κάθε περιοχή και για τη δυσμενέστερη περίπτωση παρουσιάζονται στην Εικόνα 2. Από αυτά, εύκολα στη συνέχεια υπολογίζονται η θερμική/ψυκτική ισχύς της ΑΘ.



Εικόνα 1. Διαρρύθμιση κτηρίου α' ανάπτυξης (Πηγή: Παπαγεωργίου, 2010).



Εικόνα 2. Συνολικά φορτία θέρμανσης/δροσισμού (ψύξης) του κτηρίου για κάθε περιοχή (Πηγή: Παπαγεωργίου και Λαμπρινός, 2011α)

2.1.2. Κλιματολογικά δεδομένα και συνθήκες περιβάλλοντος

Οι θερμοκρασίες εξ. περιβάλλοντος είναι αυτές που δίνει η Τεχνική Οδηγία Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας (ΤΟΤΕΕ, 2010), ενώ αυτές του εσωτ. περιβάλλοντος (μικροπεριβάλλον) είναι αυτές που προσφέρουν θερμική άνεση στα νεαρά χοιρίδια.

Η ΑΘ ανήκει στην κατηγορία αέρα-αέρα (Α-Α), ενώ για την αμμωνία θεωρείται ΑΘ αέρα-νερού (Α-Ν), αφού ο εσωτερικός εναλλάκτης απορροφά ή αποδίδει θερμότητα μέσω κυκλώματος έμμεσης ψύξης (νερό), λόγω της τοξικότητας που εμφανίζει το

ψυκτικό αυτό ρευστό. Όταν το μέσο μεταφοράς θερμότητας είναι ο αέρας, τότε θεωρείται ότι για να γίνει αποτελεσματικά η μεταφορά θα πρέπει να υπάρχει μια θερμοκρασιακή διαφορά περίπου 10°C μεταξύ ρευστού και μέσου (αέρα) στον εναλλάκτη, ενώ όταν είναι υγρό (νερό), αυτή θα πρέπει να κυμαίνεται γύρω στους 7°C. Άρα, η θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ του εσωτερικού περιβάλλοντος και εξατμιστή ή συμπυκνωτή, ανάλογα με την εποχή, θα φτάνει τους 17°C περίπου στην περίπτωση της αμμωνίας (R717).

2.1.3. Ψυκτικά ρευστά

Όσον αφορά τα ψυκτικά ρευστά, τα οποία στην ουσία αποτελούν τις τεχνολογίες σύγκρισης, αυτά έχουν επιλεγεί κατάλληλα ώστε να εκπροσωπείται κάθε κατηγορία συνθετικών αλογονανθράκων και τα φυσικά ψυκτικά ρευστά που χρησιμοποιούνται στις μονάδες κλιματισμού, ειδικά στις ΑΘ. Έτσι, οι CFCs εκπροσωπούνται από το R12, οι HCFCs από το R22, οι κορεσμένοι HFCs από τα R134a και R410A, οι ακόρεστοι HFCs (HFOs) από το R1234yf, ενώ τα φυσικά ψυκτικά ρευστά (Εργαζόμενα ρευστά σταθερής κατάστασης) εκπροσωπούνται από την αμμωνία (R717). Για τις μονάδες κλιματισμού, το R410A αποτελεί σήμερα το κυρίαρχο ψυκτικό ρευστό, ως αντικαταστάτης του R22 (UNEP, 2012a), ενώ το R1234yf βρίσκεται στο τελικό στάδιο δοκιμών, προτού καταστεί κι αυτό εμπορικά διαθέσιμο (UNEP, 2012b). Θα πρέπει να αναφερθεί ότι το R12 έχει καταργηθεί, ενώ το R22 έχει μπει, βάσει διεθνών συνθηκών, σε καθεστώς σταδιακής κατάργησης και χρησιμοποιείται (όπου αυτό πλέον επιτρέπεται) μόνο σε ήδη υπάρχουσες εγκαταστάσεις (Ανώνυμος, 2013α). Γι' αυτό το λόγο στην παρούσα διατριβή εξετάζονται για λόγους σύγκρισης. Παρόλα αυτά, σύμφωνα με νέες πληροφορίες (UNEP, 2012a), το 2012 το 75% (κατά προσέγγιση) του πληθυσμού μονάδων κλιματισμού χρησιμοποιούσε ακόμη το R22, με την παγκόσμια ζήτηση για HFCs να αντιπροσωπεύεται με ένα ποσοστό της τάξης του 20% σε σχέση με τη συνολική ζήτηση. Επίσης, τα υπόλοιπα υπό εξέταση ψυκτικά ρευστά προορίζονται αποκλειστικά και μόνο για νέες εγκαταστάσεις (UNEP, 2012b).

2.1.4. Λογισμικό Η/Υ

Για την εκπόνηση της παρούσας εργασίας χρησιμοποιήθηκαν τα λογισμικά/υπολογιστικά πακέτα MS Excel 2003, CoolPack ver. 1.5 (2012) και REFPROP ver. 9.0 (2010).

2.1.5. Αναλυτικοί περιβαλλοντικοί υπολογισμοί

Για την περίπτωση της αντλίας θερμότητας που μελετάται, ο δείκτης TEWI είναι η καταλληλότερη επιλογή για τον υπολογισμό του περιβαλλοντικού της αποτυπώματος. Κι αυτό διότι τα όρια του προς μελέτη συστήματος καλύπτονται πλήρως από τις επιδράσεις που αυτός εξετάζει ανταποκρινόμενος στο αντικείμενο διερεύνησης της παρούσας εργασίας. Στην Εικόνα 3 απεικονίζονται τα όρια του συστήματος μέσα στα οποία δρα ο δείκτης TEWI. Έτσι, κατά το στάδιο της χρήσης στο χοιροστάσιο, η έμμεση συμβολή (κίτρινα πλαίσια) προέρχεται από τις εκπομπές CO_2 που προκλήθηκαν κατά την παραγωγή της ηλεκτρ. ενέργειας (περιλαμβάνοντας και αυτές κατά την πιθανή εξαγωγή-επεξεργασία-μεταφορά των πρώτων υλών) και οι οποίες εκφράζονται από το συντελεστή εκπομπών. Στη συνέχεια η ενέργεια αυτή καταναλώνεται, απορροφούμενη από το συμπιεστή της ΑΘ, κατά το χρονικό διάστημα που αυτή λειτουργεί. Από την άλλη πλευρά, η άμεση συμβολή (κόκκινα πλαίσια) προέρχεται από τις διαρροές ψυκτικού ρευστού κατά τη διάρκεια που η ΑΘ βρίσκεται στο χοιροστάσιο και χρησιμοποιείται, καθώς και τις απώλειες κατά το τέλος της χρήσιμης διάρκειας ζωής της (παροπλισμός), όπου το ψυκτικό ρευστό εξάγεται από αυτή (ανάκτηση), προκειμένου να αφαιρεθεί η ΑΘ από το χοιροστάσιο. Από τη στιγμή που αυτή είναι η ίδια και για τις τρεις περιοχές, οι οποιεσδήποτε είδους έμμεσες εκπομπές κατά την κατασκευή της, τη μεταφορά της, την εγκατάσταση της στο χοιροστάσιο και την απομάκρυνσή της από αυτό, εκτός από το ότι είναι πολύ μικρές σε σχέση με αυτές κατά τη χρήση, είναι ακριβώς οι ίδιες. Αντίστοιχα, όσον αφορά τα ψυκτικά ρευστά, τα ίδια ισχύουν και για τις οποιεσδήποτε άμεσες και έμμεσες εκπομπές πέρα από αυτές που εξετάζει ο δείκτης TEWI. Ειδικά για τις διαφορές των εκπομπών παρασκευής μεταξύ διαφορετικών ρευστών αυτές είναι αρκετά μικρές, γεγονός που τις ωθεί να θεωρηθούν αμελητέες, από τη στιγμή που οι εκπομπές των ρευστών είναι πάρα πολύ μικρές κατά την παρασκευή τους, σε σχέση με αυτές που παράγονται όταν αυτά χρησιμοποιούνται ή ανακτώνται από τον εξοπλισμό μέσα στον οποίο περιέχονται (ΑΘ) (IPCC/TEAP, 2005).

Εικόνα 3. Οι περιβαλλοντικές επιδράσεις της ΑΘ που εξετάζει ο δείκτης TEWI (Πηγή : SEPEMO, 2011)

Οι εξισώσεις υπολογισμού του δείκτη TEWI για την ΑΘ (συνολικά και ετήσια) έχουν ως εξής (Fischer et al., 1991; IPCC/TEAP, 2005):

$$TEWI = DE + IE = (OR + DR) + (IE_X + IE_\Theta) \Longrightarrow$$
$$TEWI = [(m_R\ GWP_R\ O_{LR}\ t) + (m_R\ GWP_R\ D_L)] + [(t_{1X}\ t_{2X}\ EF\ t\ \dot{W}_\Theta) + (t_{1\Theta}\ t_{2\Theta}\ EF\ t\ \dot{W}_\Psi)] \Longrightarrow$$
$$TEWI = [(m_R\ GWP_R\ O_{LR}\ t) + (m_R\ GWP_R\ D_L)] + [(t_{1X}\ t_{2X}\ EF\ t\ \dot{Q}_\Theta / COP_\Theta^{real}) + (t_{1\Theta}\ t_{2\Theta}\ EF\ t\ \dot{Q}_\Psi / COP_\Psi^{real})]\ (kgCO_2)\ (1)$$

$TEWI_A = DE_A + IE_A = (OR_A + DR_A) + (IE_{AX} + IE_{A\Theta}) = [OR_A + (DR/t)] + [IE_{AX} + IE_{A\Theta}] \Longrightarrow$

$TEWI_A = [(m_R\ GWP_R\ O_{LR}) + (m_R\ GWP_R\ D_L / t)] + [(t_{1X}\ t_{2X}\ EF\ \dot{W}_\Theta) + (t_{1\Theta}\ t_{2\Theta}\ EF\ \dot{W}_\Psi)] \Longrightarrow$

$TEWI_A = [(m_R\ GWP_R\ O_{LR}) + (m_R\ GWP_R\ D_L / t)] + [(t_{1X}\ t_{2X}\ EF\ \dot{Q}_\Theta / COP_\Theta^{real}) + (t_{1\Theta}\ t_{2\Theta}\ EF\ \dot{Q}_\Psi / COP_\Psi^{real})]$ $(kgCO_2/yr)$ (2)

όπου:

DE, IE: η άμεση συμβολή (Direct Effect) και η έμμεση συμβολή (Indirect Effect) ($kgCO_2$-eq & $kgCO_2$ αντίστοιχα),

OR: οι ισοδύναμες άμεσες εκπομπές CO_2 κατά τη χρήση (Operational Releases) ($kgCO_2$-eq),

DR : οι ισοδύναμες άμεσες εκπομπές CO_2 κατά τον παροπλισμό (Decommissioning Releases) ($kgCO_2$-eq),

IE_X, IE_Θ : η έμμεση συμβολή κατά το στάδιο χρήσης το χειμώνα και το θέρος αντίστοιχα ($kgCO_2$),

(Τα μεγέθη με δείκτη κεφαλαίο Α εκφράζουν τις ετήσιες τιμές των παραπάνω μεγεθών)

m_R: η μάζα του ψυκτικού ρευστού που περιέχεται στον εξοπλισμό (kg),

GWP_R: το δυναμικό παγκόσμιας υπερθέρμανσης του ψυκτ. ρευστού ($kgCO_2$-eq/kg),

O_{LR}: οι ετήσιες απώλειες ψυκτ. ρευστού σε ποσοστό επί τοις εκατό (Operational Loss Rate) (%/yr),

t: η συνολική διάρκεια του σταδίου χρήσης του εξοπλισμού (δηλ. της ΑΘ) σε έτη (yr),

D_L: οι απώλειες ψυκτικού ρευστού κατά τον παροπλισμό της ΑΘ σε ποσοστό επί τοις εκατό (Decommissioning Losses) (%),

t_{1X}, $t_{1\Theta}$: οι ώρες λειτουργίας της ΑΘ ημερησίως το χειμώνα και το θέρος αντίστοιχα (h/day),

t_{2X}, $t_{2\Theta}$: οι ημέρες λειτουργίας της ΑΘ το χειμώνα και το θέρος αντίστοιχα κατά τη διάρκεια του έτους (days/yr),

EF : ο συντελεστής εκπομπών CO_2 για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (Emission Factor) ($kgCO_2$/ kWh),

$\dot{W}_\Theta$, $\dot{W}_\Psi$: η ισχύς που απορροφά ο συμπιεστής για τη λειτουργία του το χειμώνα (για θέρμανση) και το θέρος (για δροσισμό) αντίστοιχα (kW),

$\dot{Q}_\Theta$, $\dot{Q}_\Psi$: η θερμική-ψυκτική ισχύς της ΑΘ (kW) και COP_Θ^{real}, COP_Ψ^{real}: οι πραγματικοί συντελεστές θερμικής-ψυκτικής συμπεριφοράς.

2.2. Μεθοδολογία

Η μέθοδος που ακολουθείται για τον υπολογισμό του TEWI της εγκατεστημένης ΑΘ στο χοιροστάσιο αναφοράς περιλαμβάνει τρία βασικά στάδια :

1. Διερεύνηση κλιματικών συνθηκών/δεδομένων μικροπεριβάλλοντος: προσδιορίζονται οι μέσες μηνιαίες ελάχιστες/μέγιστες θερμοκρασίες χειμώνα/θέρους αντίστοιχα (δυσμενέστερες συνθήκες εξωτερικού περιβάλλοντος), καθώς και οι μέσες θερμοκρασίες που απαιτούνται για τη θερμική άνεση των χοιριδίων το χειμώνα (για θέρμανση) και το θέρος (για δροσισμό) στο εσωτερικό περιβάλλον (μικροπεριβάλλον), δηλαδή τους θαλάμους του χοιροστασίου, με βάση την οργάνωση αλλά και τις ανάγκες του.

2. Ενεργειακοί υπολογισμοί : ποσοτικοποιούνται όλα εκείνα τα μεγέθη που οδηγούν στον υπολογισμό των πραγματικών συντελεστών θερμικής-ψυκτικής συμπεριφοράς (COP_Θ^{real}, COP_Ψ^{real}), καθώς και των αντίστοιχων θεωρητικών παροχών όγκου στην αναρρόφηση του συμπιεστή, η οποία βοηθά στη διαστασιολόγησή του, για κάθε περιοχή και για κάθε υποψήφιο ψυκτικό ρευστό.

3. Περιβαλλοντικοί υπολογισμοί : Λαμβάνοντας υπόψη τις απαραίτητες παραδοχές-υποθέσεις (Αναστασίου, 2012), υπολογίζονται η άμεση και η έμμεση συμβολή. Από το συνδυασμένο άθροισμά τους προκύπτει η τιμή του TEWI, η οποία μπορεί να είναι η συνολική ή η ετήσια, ανά ψυκτικό ρευστό και περιοχή.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ & ΣΧΟΛΙΑ

3.1. Εσωτερικό-Εξωτερικό περιβάλλον

Στους Πίνακες 1 και 2 δίνονται οι θερμοκρασίες εξωτερικού-εσωτερικού περιβάλλοντος (θ_{out}, θ_{in}), καθώς και οι θερμοκρασίες εξάτμισης-συμπύκνωσης (θ_e, θ_c) για κάθε περιοχή και εποχή (ανάγκες δηλαδή σε θέρμανση/δροσισμό).

Πίνακας 1. Θερμοκρασίες θ_{out}, θ_{in} και ανάλογες θερμοκρασίες θ_e, θ_c (σε °C) για κάθε περιοχή το χειμώνα (θέρμανση)

ΧΕΙΜΩΝΑΣ	θ_{out}	θ_e	$\boldsymbol{\theta_c}$	$\boldsymbol{\theta_{in}}$
Φλώρινα (RX)	-3.5	-13.5	**43**	**33**
Φλώρινα (R717)	-3.5	-13.5	**50**	**33**
Χαλκίδα (RX)	5.1	-4.9	**43**	**33**
Χαλκίδα (R717)	5.1	-4.9	**50**	**33**
Ιεράπετρα (RX)	8.5	-1.5	**43**	**33**
Ιεράπετρα (R717)	8.5	-1.5	**50**	**33**

Πίνακας 2. Θερμοκρασίες θ_{in}, θ_{out} και ανάλογες θερμοκρασίες θ_e, θ_c (σε °C) για κάθε περιοχή το θέρος (δροσισμός)

ΘΕΡΟΣ	$\boldsymbol{\theta_{in}}$	$\boldsymbol{\theta_e}$	θ_c	θ_{out}
Φλώρινα (RX)	**24**	**14**	39	29
Φλώρινα (R717)	**24**	**7**	39	29
Χαλκίδα (RX)	**24**	**14**	41	31
Χαλκίδα (R717)	**24**	**7**	41	31
Ιεράπετρα (RX)	**24**	**14**	42	32
Ιεράπετρα (R717)	**24**	**7**	42	32

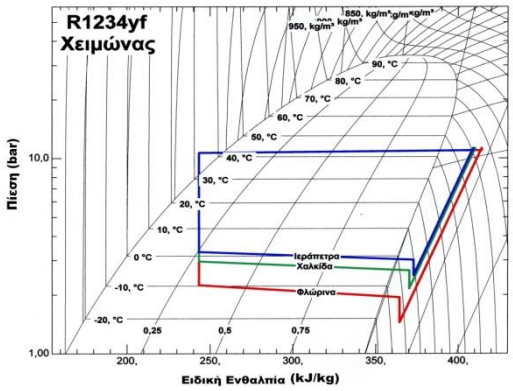
Από τις θερμοκρασίες εξωτερικού περιβάλλοντος (θ_{out}) παρατηρείται ότι η εκλογή των περιοχών, καλύπτει και δίνει μια γενική εικόνα για το εύρος θερμοκρασιών που μπορεί να απαντηθεί στην επικράτεια. Από την άλλη πλευρά, λαμβάνοντας υπόψη και την κρισιμότητα που έχει το στάδιο α' ανάπτυξης (στο οποίο τα χοιρίδια χαρακτηρίζονται από μεγάλη ευπάθεια λόγω του νεαρού της ηλικίας τους), οι επιλεχθείσες θερμοκρασίες εσωτερικού περιβάλλοντος (θ_{in}) είναι αυτές που θα προσφέρουν την απαραίτητη θερμική άνεση, ώστε να μην επηρεάζεται αρνητικά τόσο η παραγωγικότητα όσο και η ευζωία τους. Τα προβλήματα που εμφανίζονται πιο συχνά στα νεαρά χοιρίδια κατά το χειμώνα στον Ελλαδικό χώρο, και κυρίως η θνησιμότητα, οφείλονται στις χαμηλές θερμοκρασίες, στα ρεύματα

αέρα και στις μεγάλες ημερήσιες διακυμάνσεις της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος. Για τις θερινές συνθήκες της χώρας, τα νεαρά χοιρίδια εμφανίζουν έντονα προβλήματα θερμικής καταπόνησης, με αποτέλεσμα την ελαπωμένη κατανάλωση τροφής και το μικρότερο ρυθμό ανάπτυξης (Παπαγεωργίου, 2010; Παναγάκης, 2010). Η προσεκτική ρύθμιση της θερμοκρασίας είναι καθοριστική και με τη χρήση μιας ΑΘ μπορεί και γίνεται πραγματοποιήσιμη στα επιθυμητά κάθε φορά επίπεδα.

3.2. Ενεργειακοί υπολογισμοί

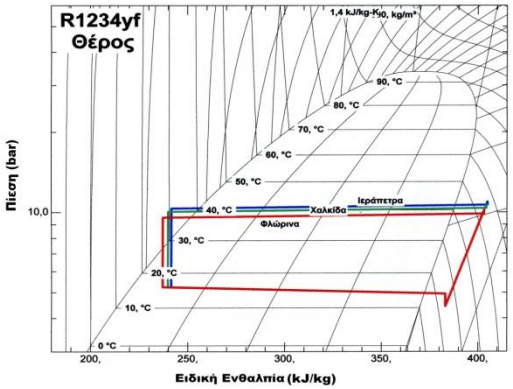
Σύμφωνα με πρόσφατες εκτιμήσεις (UNEP, 2012b), στον τομέα ψύξης και κλιματισμού ο κύκλος συμπίεσης ατμών ψυκτικού ρευστού είναι αυτός που θα κυριαρχεί και τις επόμενες δεκαετίες, αφού οι άλλου είδους τεχνολογίες παρουσιάζουν μέτρια προς καλή απόδοση (μαγνητική ψύξη, συστήματα ψύξης αποξηραντικού μέσου) ή φτωχή απόδοση (κύκλοι ρόφησης, θερμοηλεκτρική και θερμοακουστική ψύξη), σε σχέση με αυτόν. Γι' αυτό άλλωστε η ΑΘ που μελετάται ανήκει σε αυτή την κατηγορία ψυκτικών μηχανών που λειτουργούν ως συστήματα/μονάδες κλιματισμού.

Στις Εικόνες 4 και 5 απεικονίζονται οι κύκλοι του ψυκτικού ρευστού R1234yf ανά εποχή και περιοχή, στο αντίστοιχο για το R1234yf διάγραμμα P-h, ενώ ανάλογη διαδικασία ακολουθήθηκε και για τα υπόλοιπα ψυκτικά ρευστά (Refprop, 2010).



Εικόνα 4. Ψυκτικός κύκλος σε διάγραμμα P-h του R1234yf για τις τρεις περιοχές κατά το χειμώνα

Μέσω των ψυκτικών κύκλων βρέθηκαν τα απαραίτητα θερμοδυναμικά μεγέθη ώστε να γίνουν οι απαιτούμενοι ενεργειακοί υπολογισμοί για όλα τα ψυκτικά ρευστά, μεταξύ των οποίων υπολογίστηκαν η θεωρητική παροχή όγκου στο συμπιεστή (χειμώνας-$\dot{V}_{thX}$, θέρος-$\dot{V}_{th\Theta}$) για κάθε περιοχή και ψυκτικό ρευστό, καθώς και οι συντελεστές θερμικής και ψυκτικής συμπεριφοράς (COP_{Θ}^{real}, COP_{ψ}^{real} αντίστοιχα). Οι τιμές των τελευταίων συζητούνται στην επόμενη υποενότητα, προκειμένου να είναι οπτικά ευκολότερος ο συσχετισμός τους με τον περιβαλλοντικό δείκτη TEWI και τις συνιστώσες του.



Εικόνα 5. Ψυκτικός κύκλος σε διάγραμμα P-h του R1234yf για τις τρεις περιοχές κατά το θέρος

Όσον αφορά δε τις κρίσιμες θερμοκρασίες (Refprop, 2010) και τη σχέση τους με τη μέγιστη θερμοκρασία του κύκλου που καλείται να εργαστεί το κάθε ψυκτικό ρευστό (θερμοκρασία στο σημείο 2 του διαγράμματος P-h), αυτή απεικονίζεται χαρακτηριστικά από το λόγο θ_2/θ_{cr} των δύο θερμοκρασιών, δηλ. της θερμοκρασίας κατάθλιψης θ_2 και της κρίσιμης θερμοκρασίας του ρευστού θ_{cr} στον Πίνακα 3. Ανεπιθύμητη είναι η κατάσταση στην οποία ο λόγος αυτός πλησιάζει σημαντικά ή και υπερβαίνει την τιμή 0.90 (Λεβέντη & Λαμπρινός, 2009).

Πίνακας 3. Λόγος θ_2/θ_{cr} για κάθε ψυκτικό ρευστό ανά περιοχή και εποχή

Ψυκτικό Ρευστό	Περιοχή	Χειμώνας	Θέρος
R12	Φλώρινα	0.76	0.55
	Χαλκίδα	0.69	0.57
	Ιεράπετρα	0.67	0.58
R22	Φλώρινα	**1.08**	0.71
	Χαλκίδα	**0.96**	0.74
	Ιεράπετρα	**0.92**	0.76
R134a	Φλώρινα	0.78	0.58
	Χαλκίδα	0.71	0.60
	Ιεράπετρα	0.69	0.61
R410A	Φλώρινα	**1.35**	**0.94**
	Χαλκίδα	**1.24**	**0.98**
	Ιεράπετρα	**1.20**	**1.01**
R1234yf	Φλώρινα	0.69	0.56
	Χαλκίδα	0.66	0.59
	Ιεράπετρα	0.65	0.60
R717	Φλώρινα	**1.62**	0.86
	Χαλκίδα	**1.37**	**0.90**
	Ιεράπετρα	**1.27**	**0.92**

Έτσι, οι χειρότερες περιπτώσεις απαντώνται και στις τρεις περιοχές, τόσο για το χειμώνα όσο και για το θέρος, κατά σειρά για τα R717, R410A και R22 με τις περιπτώσεις των R717, R410A ειδικά να ξεπερνούν κατά πολύ τη μονάδα το χειμώνα.

Η θεωρητική παροχή όγκου είναι ένα μέγεθος σημαντικό, αφού καθορίζει το μέγεθος του συμπιεστή και, περαιτέρω, της διάταξης (Πίνακας 4). Για κάθε περίπτωση, η διαστασιολόγηση γίνεται με την επιλογή της μεγαλύτερης τιμής μεταξύ χειμώνα και θέρους, έτσι ώστε να καλύπτεται και η μικρότερη.

Πίνακας 4. Διαστασιολόγηση συμπιεστή για κάθε ψυκτικό ρευστό και περιοχή

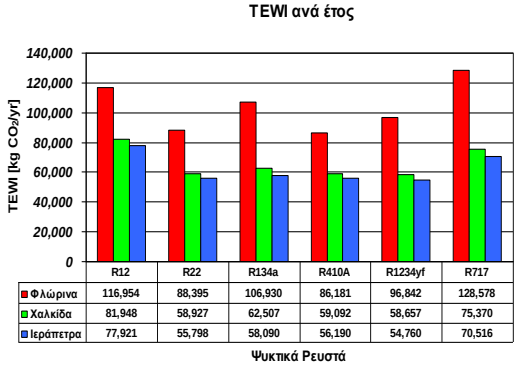
Περιοχή	Ψυκτικό Ρευστό	$\dot{V}_{th\Xi}$	$\dot{V}_{th\Theta}$	Διαστασιολόγηση συμπιεστή με βάση το
Φλώρινα	R12	0.100	0.033	Χειμώνα
	R22	0.051	0.020	Χειμώνα
	R134a	0.123	0.031	Χειμώνα
	R410A	0.031	0.013	Χειμώνα
	R1234yf	0.108	0.031	Χειμώνα
	R717	0.071	0.025	Χειμώνα
Χαλκίδα	R12	0.034	0.038	Θέρος
	R22	0.019	0.023	Θέρος
	R134a	0.037	0.036	Χειμώνα
	R410A	0.012	0.015	Θέρος
	R1234yf	0.035	0.036	Θέρος
	R717	0.021	0.029	Θέρος
Ιεράπετρα	R12	0.024	0.041	Θέρος
	R22	0.014	0.025	Θέρος
	R134a	0.025	0.038	Θέρος
	R410A	0.009	0.016	Θέρος
	R1234yf	0.025	0.039	Θέρος
	R717	0.015	0.031	Θέρος

Από τη σύγκριση προκύπτει ότι η καλύτερη επιλογή είναι το R410A και για τις τρεις περιοχές, καθώς η χειρότερη για τη Φλώρινα είναι το R134a ενώ για τη Χαλκίδα και την Ιεράπετρα είναι το R12. Όμως, από τη στιγμή που λόγω κρίσιμων συνθηκών (Πίνακας 3) δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί, καθώς και τα R22, R12 & R717, καλύτερη επιλογή αποτελούν τα R1234yf & R134a.

Αν και η αμμωνία παρουσιάζει αρκετά πλεονεκτήματα (Cengel & Boles, 2003; Λεβέντη & Λαμπρινός, 2009), τα δυο μεγάλα της μειονεκτήματα, κυρίως η τοξικότητα αλλά και η διαβρωτικότητα, αναγκάζουν τη χρήση της σε εφαρμογές όπως το χοιροστάσιο-αναφορά, μόνο μέσω κυκλώματος έμμεσης ψύξης το οποίο μειώνει σημαντικά την απόδοσή της, καθιστώντας την έτσι εφαρμόσιμη μόνο για μεγάλες εγκαταστάσεις, σε βιομηχανικές περιοχές, και, εν πάσει περιπτώσει, εκτός κατοικημένων περιοχών.

3.3. Περιβαλλοντικοί υπολογισμοί

Οι υπολογισμοί που έγιναν αφορούν τις ετήσιες τιμές της άμεσης συμβολής (DE_A), της έμμεσης συμβολής (IE_A) και, επομένως του ετήσιου TEWI ($TEWI_A$). Αυτό γίνεται αφενός μεν για να υπάρχει μια πιο σαφής και συγκρίσιμη εικόνα, πράγμα που δεν απεικονίζεται ξεκάθαρα υπολογίζοντας τα αντίστοιχα μεγέθη κατά τη συνολική διάρκεια λειτουργίας (χρήσης) της ΑΘ, αφετέρου δε είναι καλύτερο να είναι γνωστές οι ετήσιες τιμές, αφού αρκετοί λόγοι μπορούν να διαφοροποιήσουν τη συνολική τιμή TEWI, όπως είναι π.χ. η αντικατάσταση της ΑΘ λόγω ζημιών ή λόγω της ύπαρξης μιας άλλης, ανταγωνιστικότερης, τεχνολογίας κατά τη διάρκεια του υποτιθέμενου σταδίου λειτουργίας, η διαφαινόμενη αλλαγή των κλιματικών συνθηκών κατά την πάροδο αυτών των ετών, η μείωση της θερμομονωτικής ικανότητας των υλικών κατασκευής του χοιροστασίου, η πτώση της ποιότητας των ψυκτικών ρευστών εάν δεν γίνονται συχνές, τουλάχιστον ετήσιες, επιθεωρήσεις και επισκευές, κ.τ.λ. Άλλωστε, εάν υπάρχει ανάγκη για τον υπολογισμό των μεγεθών αυτών για τη συνολική διάρκεια λειτουργίας ή για οποιαδήποτε άλλη χρονική περίοδο μέσα σε αυτή, αυτός προκύπτει εύκολα από το γινόμενο των ετήσιων τιμών με την εκάστοτε επιλεγμένη χρονική περίοδο. Στην Εικόνα 6 συγκρίνεται η τιμή του TEWI ανά έτος ($TEWI_A$) ανά ψυκτικό ρευστό και περιοχή. Σε αυτή φαίνεται ότι η τιμή του είναι μεγαλύτερη στα ψυχρότερα κλίματα, ενώ μειώνεται αισθητά κατά τη μετάβαση σε θερμότερα κλίματα, γεγονός που ισχύει για όλα τα ψυκτικά ρευστά. Παρόλο που το R22 και ο αντικαταστάτης του, το R410A, αποτελούν την καλύτερη επιλογή, έχουν ήδη αποκλειστεί από την εφαρμογή τους στο χοιροστάσιο, λόγω κρίσιμων συνθηκών.



Εικόνα 6. Ετήσια τιμή TEWI ($TEWI_A$)

Στον Πίνακα 5 δίνονται τα συγκεντρωτικά ετήσια αποτελέσματα των περιβαλλοντικών υπολογισμών αλλά και των συντελεστών $COP_\Theta{}^r$, $COP_\Psi{}^r$ (ο εκθέτης r αποτελεί συντόμευση της λέξης real), που προέκυψαν από τους ενεργειακούς υπολογισμούς ανά περιοχή, εποχή και ψυκτικό ρευστό, όπου :
DE_A: η άμεση ετήσια συμβολή ($kgCO_2/yr$),
$IE_{A\Xi}$: η έμμ. ετήσια συμβολή το χειμώνα ($kgCO_2/yr$),
$IE_{A\Theta}$: η έμμ. ετήσια συμβολή το θέρος ($kgCO_2/yr$),
IE_A: η συνολική έμμεση ετήσια συμβολή ($kgCO_2/yr$),
$TEWI_A$: η ετήσια τιμή του δείκτη TEWI ($kgCO_2/yr$).

Πίνακας 5. Αποτελέσματα ενεργειακών και περιβαλλοντικών υπολογισμών ανά περιοχή, εποχή και ψυκτικό ρευστό.

Ψ.Ρ.	Περιοχή	DE_A	$IE_{A\Xi}$	$IE_{A\Theta}$	IE_A	$TEWI_A$	$COP_\Theta{}^r$	$COP_\Psi{}^r$
R12	Φλώρινα	23,780	67,773	25,402	93,175	116,955	1.99	5.76
	Χαλκίδα	23,780	26,930	31,237	58,167	81,947	2.87	5.34
	Ιεράπετρα	23,471	20,122	34,328	54,450	77,921	3.28	5.12
R22	Φλώρινα	3,692	60,479	24,224	84,703	88,395	2.23	6.04
	Χαλκίδα	3,692	25,341	29,894	55,235	58,927	3.05	5.58
	Ιεράπετρα	3,692	19,130	32,975	52,105	55,797	3.45	5.33
R134a	Φλώρινα	2,877	78,870	25,183	104,053	106,930	1.71	5.81
	Χαλκίδα	2,877	28,626	31,005	59,631	62,508	2.70	5.38
	Ιεράπετρα	2,877	21,019	34,194	55,213	58,090	3.14	5.14
R410A	Φλώρινα	4,023	58,132	24,025	82,157	86,180	2.32	6.09
	Χαλκίδα	4,023	25,176	29,894	55,070	59,093	3.07	5.58
	Ιεράπετρα	4,023	19,130	33,037	52,167	56,190	3.45	5.32
R1234yf	Φλώρινα	7	71,738	25,097	96,835	96,842	1.88	5.83
	Χαλκίδα	7	27,702	30,947	58,649	58,656	2.79	5.39
	Ιεράπετρα	7	20,625	34,128	54,753	54,760	3.20	5.15
R717	Φλώρινα	0	94,313	34,266	128,579	128,579	1.43	4.27
	Χαλκίδα	0	33,459	41,911	75,370	75,370	2.31	3.98
	Ιεράπετρα	0	24,626	45,890	70,516	70,516	2.68	3.83

Αυτό που παρατηρείται πρωτίστως, είναι ότι σε γενικές γραμμές η έμμεση συμβολή είναι κατά πολύ μεγαλύτερη από την άμεση (>6 φορές κατά μέσο

όρο, όταν αυτή υπάρχει), εκτός και αν το ψυκτικό ρευστό διαθέτει πολύ μεγάλη τιμή GWP (όπως, π.χ., το R12 με GWP = 10,900), οπότε η άμεση θα συμμετέχει με αρκετά μεγαλύτερο ποσοστό στην τιμή του TEWI. Όσο μεγαλύτεροι είναι οι COP, τόσο μικρότερη είναι η ισχύς λειτουργίας του συμπιεστή, με αποτέλεσμα να είναι μικρότερη η έμμεση συμβολή, που συνεπάγεται και μικρότερη τιμή TEWI. Επίσης, ο ρόλος της άμεσης συμβολής φαίνεται από την τιμή του $TEWI_A$ για τις περιπτώσεις του R1234yf στη Χαλκίδα και την Ιεράπετρα, όπου, λόγω της πολύ μικρής τιμής GWP που παρουσιάζει, καταφέρνει να υπερτερεί του κυρίαρχου R410A, το οποίο παρουσιάζει τους καλύτερους COP (σε αντίθεση με την αμμωνία που, αν και είναι σαν ουσία το φιλικότερο προς το περιβάλλον συγκρινόμενο ψυκτικό ρευστό με μηδενικό ODP και GWP, παρουσιάζει τους χειρότερους, λόγω του κυκλώματος έμμεσης ψύξης δίνοντας τελικώς πολύ μεγάλες τιμές $TEWI_A$). Για τον ίδιο λόγο (διαφορετική τιμή GWP), το R22 παρουσιάζεται να έχει μικρότερη άμεση συμβολή από το R410A, ενώ στην περίπτωση του R12 στην Ιεράπετρα, η άμεση συμβολή υπερτερεί της έμμεσης κατά το χειμώνα. Όσον αφορά την έμμεση συμβολή το χειμώνα, αυτή είναι μεγαλύτερη στα πιο ψυχρά κλίματα, ενώ η έμμεση συμβολή το θέρος υπερτερεί, αντίστοιχα, στα πιο θερμά κλίματα. Όμως, από τη στιγμή που το R410A δουλεύει σε υπερκρίσιμες συνθήκες, ενώ το R22 τις προσεγγίζει αρκετά και παράλληλα έχει μη μηδενική τιμή ODP (τελώντας υπό καθεστώς σταδιακής κατάργησης), η καταλληλότερη επιλογή τελικά είναι το R1234yf, ακολουθούμενο από το R134a.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

4.1 Ενεργειακοί υπολογισμοί

Τα ψυκτικά ρευστά R717 και R410A (τα R12 & R22 συμμετέχουν μόνο για σύγκριση) αποκλείονται από τη συγκεκριμένη εφαρμογή, διότι η αντλία θερμότητας λειτουργεί το χειμώνα σε υπερκρίσιμες συνθήκες. Τα ψυκτικά ρευστά R1234yf και R134a παρουσιάζουν COP_Θ από 1.7 (Φλώρινα) έως 3.2 (Ιεράπετρα) και COP_Ψ από 5.1 (Ιεράπετρα) έως 5.8 (Φλώρινα). Όσον αφορά τη θεωρητική παροχή όγκου $\dot{V}_{th}$ (μέγεθος συμπιεστή), βάσει της οποίας γίνεται η διαστασιολόγησή του, ισχύουν για την κάθε περιοχή τα εξής : στη Φλώρινα η διαστασιολόγηση γίνεται με βάση τη θεωρητική παροχή όγκου του χειμώνα για όλα τα ψυκτικά ρευστά. Στη Χαλκίδα η διαστασιολόγηση γίνεται με βάση τη θεωρητική παροχή όγκου του θέρους για όλα τα ψυκτικά ρευστά εκτός από το R134a, του οποίου αυτή του χειμώνα είναι ελάχιστα μεγαλύτερη από αυτή του θέρους. Και στις δυο περιοχές το R1234yf αποτελεί την καλύτερη επιλογή, ενώ ακολουθεί το R134a. Στην Ιεράπετρα η διαστασιολόγηση γίνεται με βάση τη θεωρητική παροχή όγκου του θέρους για όλα τα ψυκτικά ρευστά. Το R134a αποτελεί την καλύτερη επιλογή, ενώ ακολουθεί το R1234yf. Το μέγεθος του συμπιεστή μεταξύ Φλώρινας και Ιεράπετρας μπορεί να είναι υπερτριπλάσιο.

4.2 Περιβαλλοντικοί υπολογισμοί

Όσον αφορά και την άμεση ετήσια συμβολή (DE_A) και την έμμεση ετήσια συμβολή (IE_A), δηλαδή την ετήσια τιμή του TEWI ($TEWI_A$), η καλύτερη επιλογή είναι το R1234yf, ακολουθούμενο από το R134a. Η έμμεση συμβολή στην καταστροφή του περιβάλλοντος είναι 6 και πλέον φορές μεγαλύτερη από την άμεση (όταν αυτή υπάρχει), ενώ στη Φλώρινα είναι σχεδόν διπλάσια απ' ότι στην Ιεράπετρα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Cengel, Y.A. and Boles, M.A., 2003. *Θερμοδυναμική για Μηχανικούς, 3η Έκδοση, Τόμος Β* (Π.Ε. Τσιακάρας, Μτφρ.). Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη, σ. 673.

CoolPack, 2012 : Skovrup M.J., Jakobsen A., Rasmussen, B.D. and Andersen, S.E. *CoolPack~Version 1,50*. Technical University of Denmark, Department of Energy Engineering, Building 402, DK-2800 Lyngby.

Fischer, S.K., Hughes, P.J., Fairchild, P.D. (Oak Ridge National Laboratory), Kusik, C.L., Dieckmann, J.T., McMahon, E.M. and Hobday, N. (Arthur D. Little, Inc.), 1991. *Energy and Global Warming Impacts of CFC Alternative Technologies*. Sponsored by : Alternative Fluorocarbons Environmental Acceptability Study (AFEAS) & U.S. Department of Energy (DOE), Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee, USA, 520 p.

IPCC/TEAP, 2005 : Metz, B., Kuijpers, L., Solomon, S., Andersen, S.O., Davidson, O., Pons, J., Jager, D., Kestin, T., Manning, M. and Meyer, L., (Eds). ***Safeguarding the Ozone Layer and the Global Climate System : Issues Related to Hydrofluorocarbons and Perfluorocarbons.*** Cambridge University Press, UK, 478 p.

Refprop, 2010 : Lemmon, E.W., Huber, M.L. and McLinden, M.O. *NIST Standard Reference Database 23 : Reference Fluid Thermodynamic and Transport Properties-REFPROP, Version 9.0*. National Institute of Standards and Technology, Standard Reference Data Program, Gaithersburg, USA, 2010.

SEPEMO, 2011 : SEasonal PErformance factor and MOnitoring for heat pump systems in the building sector (SEPEMO-build). Zottl, A., Lindahl, M., Nordman, R., Riviere, P. and Miara, M. *Evaluation method for comparison of heat pump systems with conventional heating systems-D4.3 Concept for evaluation of CO_2-reduction potential*. Supported by the 'Intelligent Energy-Europe' (IEE) Programme, European Commission, 21 p.

UNEP, 2012a. *May 2012 Report of the Technology and Economic Assessment Panel (TEAP), Volume 1 : Progress Report*. United Nations Environment Programme (UNEP), Ozone Secretariat, Nairobi, Kenya, 222 p.

UNEP, 2012b. *May 2012 Report of the Technology and Economic Assessment Panel (TEAP), Volume 2 : Decision XXIII/9 Task Force Report-Additional Information on Alternatives to Ozone-Depleting*

Substances. United Nations Environment Programme (UNEP), Ozone Secretariat, Nairobi, Kenya, 96 p.

Αναστασίου, Δ., 2012. *Το Περιβαλλοντικό Αποτύπωμα Αντλίας Θερμότητας Γεωργικής Χρήσης : Μεθοδολογία και Εκτίμηση για Ελληνικές Συνθήκες*. Μεταπτυχιακή Διατριβή, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων & Γεωργικής Μηχανικής, Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας, σ. 150.

Αναστασίου Δ. και Λαμπρινός Γρ., 2013: Σημασία του δείκτη συνολικής ισοδύναμης επίδρασης στην παγκόσμια θέρμανση και το περιβαλλοντικό αποτύπωμα μιας αγροτικής διεργασίας, Πρακτικά 8ου Πανελληνίου Συνεδρίου Γεωργικής Μηχανικής Ελλάδας, Βόλος.

Ανώνυμος, 2013α. http://www.heatpumpcentre.org/en/aboutheatpumps/heatpumpworkingfluids/Sidor/default.aspx

Ανώνυμος, 2013β. http://www.boulder.nist.gov/div838/theory/refprop/Frequently_asked_questions.htm#HFC1234yf

Λεβέντη, Α. και Λαμπρινός, Γρ., 2009. *Νέα κριτήρια και μέθοδος επιλογής Ψυκτικών Ρευστών για Κλιματισμό*. Πρακτικά 6ου Εθνικού Συνεδρίου Γεωργικής Μηχανικής, 8-10 Οκτωβρίου 2009, Θεσσαλονίκη, σ. 729-736.

Παναγάκης, Π., 2010. *ΧΟΙΡΟΣΤΑΣΙΑ : Τεχνητό Περιβάλλον-Σχεδιασμός & Οργάνωση Χώρων-Κατασκευές & Εξοπλισμός*. Αδημοσίευτες Ηλεκτρονικές Σημειώσεις, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων & Γεωργικής Μηχανικής, Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών, σ. 149.

Παπαγεωργίου, Ι.Φ., 2010. *Χρήση Αντλίας Θερμότητας για Κλιματισμό Χοιροστασίου αξιοποιώντας τη Γεωθερμία*. Μεταπτυχιακή Διατριβή, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων & Γεωργικής Μηχανικής, Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας, σ. 127.

Παπαγεωργίου, Ι.Φ. και Λαμπρινός, Γ., 2011α. *Κλιματισμός Χοιροστασίου με Γεωβοηθούμενη Αντλία Θερμότητας*. Πρακτικά 7ου Εθνικού Συνεδρίου Γεωργικής Μηχανικής, 24-27 Νοεμβρίου 2011, Αθηνά (Γ.Π.Α.), Κωδικός εργασίας : 4.3.

Παπαγεωργίου, Ι.Φ. και Λαμπρινός, Γ., 2011β. *Σχεδιασμός, διαστασιολόγηση και κοστολόγηση Γεωεναλλάκτη Αντλίας Θερμότητας για Κλιματισμό Αγροτικών Κτηρίων*. Πρακτικά 7ου Εθνικού Συνεδρίου Γεωργικής Μηχανικής, 24-27 Νοεμβρίου 2011, Αθηνά (Γ.Π.Α.), Κωδικός εργασίας : 4.4.

ΤΟΤΕΕ, 2010 : Τεχνική Οδηγία Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας 20701-3/2010. *Κλιματικά Δεδομένα Ελληνικών Περιοχών*. Υπουργείο Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής, (Υ.Π.Ε.Κ.Α.), Ειδική Γραμματεία Επιθεώρησης Περιβάλλοντος και Ενέργειας, Ειδική Υπηρεσία Επιθεωρητών Ενέργειας, Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, Αθήνα, σ. 78.

ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΟΥ ΔΕΙΚΤΗ ΣΥΝΟΛΙΚΗΣ ΙΣΟΔΥΝΑΜΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗ ΚΑΙ ΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟ ΑΠΟΤΥΠΩΜΑ ΜΙΑΣ ΑΓΡΟΤΙΚΗΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΑΣ

Δ. Αναστασίου και Γρ. Λαμπρινός
Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας, Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων & Γεωργικής Μηχανικής
Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Ιερά Οδός 75,Τ.Κ. 11855,Αθήνα, *e–mail: refrigenergy@aua.gr*

Το Ανθρωπογενές Φαινόμενο του Θερμοκηπίου (ελεγχόμενο από το Πρωτόκολλο του Κιότο) αποτελεί το μεγαλύτερο περιβαλλοντικό πρόβλημα, ακολουθούμενο από την Τρύπα του Όζοντος (που ελέγχεται από το Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ). Ο όρος 'περιβαλλοντικό αποτύπωμα' έχει επικρατήσει να σημαίνει το σύνολο των εκπομπών CO_2 και των άλλων αερίων του θερμοκηπίου λόγω ανθρωπογενών δραστηριοτήτων. Η 'Συνολική Ισοδύναμη Επίδραση στην Παγκόσμια Θέρμανση', ΣΙΕΠΘ (Total Equivalent Warming Impact, TEWI) αποτελεί μια προσέγγιση για τον υπολογισμό του αποτυπώματος, η οποία έχει περιορισμένο πεδίο εφαρμογής, αφού ασχολείται με την επίδραση που ασκούν στην ενίσχυση του Φαινομένου του Θερμοκηπίου εργαζόμενα ρευστά που ανήκουν στα θερμοκηπιακά αέρια και τα οποία συμμετέχουν σε συγκεκριμένα στάδια του κύκλου ζωής του εξοπλισμού που περιέχονται ή όλης της διαδικασίας . Η επίδραση αυτή μπορεί να είναι άμεση (απευθείας εκπομπή) αλλά και έμμεση, λόγω των εκπεμπομένων ποσοτήτων CO_2 κατά τη διαδικασία παραγωγής της ενέργειας που τροφοδοτεί τον εξοπλισμό ή απορροφάται από μια διαδικασία. Ο περιβαλλοντικός δείκτης TEWI καθίσταται χρήσιμο εργαλείο αξιολόγησης και σύγκρισης διαφόρων τεχνολογιών. Ειδικά σε εφαρμογές κλιματισμού, ξήρανσης, ανάκτησης ή αναβάθμισης θερμικής ενέργειας, που ενδιαφέρουν σήμερα σημαντικά την αγροτοβιομηχανία, μπορούν να συγκριθούν και τεχνολογίες που χρησιμοποιούν συμβατικές ενεργειακές πηγές (π.χ. πετρέλαιο, άνθρακας), ενώ ο δείκτης μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για την ελαχιστοποίηση των κλιματικών επιπτώσεων που παρουσιάζουν οι ήδη υπάρχουσες ή εγκατεστημένες τεχνολογίες. Φυσικά ο δείκτης TEWI καθίσταται ιδιαίτερα πολύτιμος κατά την κατασκευή ή ανακαίνιση αγροτοβιομηχανικών κτηρίων, διευκολύνοντας και στην επιλογή του τρόπου θέρμανσης/δροσισμού τους. Ωστόσο, τόσο η προσέγγιση TEWI όσο και η βελτιωμένη μέθοδος LCCP(Life Cycle Climate Performance) εξετάζουν μόνο την κλιματική επίδραση. Υπάρχει όμως και η ευρύτερη μέθοδος LCA(Life Cycle Assessment), αφού περιλαμβάνει τις περιβαλλοντικές επιδράσεις και των υπολοίπων εισροών-εκροών του συστήματος, πλέον εκείνων που συνδέονται με την καταναλούμενη ενέργεια από την διεργασία.

Λέξεις κλειδιά: Φαινόμενο του Θερμοκηπίου, Κλιματική Αλλαγή, Εργαζόμενα ρευστά, Περιβαλλοντικό αποτύπωμα.

IMPORTANCE OF THE TEWI (TOTAL EQUIVALENT WARMING IMPACT) INDEX AND THE ENVIRONMENTAL FOOTPRINT OF A RURAL PROCESS

Dimitrios Anastasiou and Gregory Lambrinos
Laboratory of Agricultural Engineering, Department of Natural Resources Management & Agricultural Engineering
Agricultural University of Athens, 75 Iera Odos Street, GR-11855, Athens, Greece, *e–mail: refrigenergy@aua.gr*

The enhanced Greenhouse Effect (controlled by the Kyoto Protocol) is the largest environmental problem, followed by the Ozone Hole (controlled by the Montreal Protocol). The term 'environmental footprint' has prevailed mean the total emissions of CO_2 and other greenhouse gases caused by human activities. 'Total Equivalent Warming Impact (TEWI)' is an approach to calculate the footprint, which is limited in scope, since it deals with the influence of fluids belong to greenhouse gases at specific stages of the life cycle of the equipment contained or process involved. This can be direct (direct effect) and indirectly (indirect effect) because of the amount of CO_2 emitted during the production of energy supplying the equipment or absorbed by a process. The environmental index TEWI becomes useful tool for assessing and comparing different technologies. Especially in air conditioning, drying, saving or upgrading thermal energy agro-industrial applications, there can also be compared technologies that use conventional energy sources (e.g. oil, coal) and can be used to minimize climate impacts posed by existing or established technologies. Consists especially valuable during the construction or renovation of buildings, facilitating the choice of their heating/cooling. However, both the approaches of TEWI and the improved LCCP(Life Cycle Climate Performance) approach consider only the climate impact. LCA(Life Cycle Assessment) is the broadest approach, since it includes the environmental effects of the other system inputs-outputs, in addition to those associated with energy.

Key words: Greenhouse Effect, Climate Change, Worked fluid, Environmental footprint.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Αυτό που με μια λέξη είναι γνωστό ως περιβάλλον, αποτελείται κατ' ουσία από το φυσικό περιβάλλον και το δομημένο περιβάλλον. Το πρώτο αποτελείται από το σύνολο των ζωντανών οργανισμών και της άβιας ύλης που βρίσκονται με φυσικό τρόπο πάνω στη Γη, ενώ στο δεύτερο συγκαταλέγονται όλες εκείνες οι γεωγραφικές περιοχές του πλανήτη που δέχονται σημαντική επιρροή από τον άνθρωπο, ως αποτέλεσμα των δραστηριοτήτων του.

Τα σημεία, οι περιοχές, κ.λ.π., από τα οποία εκπέμπονται ρύποι ονομάζονται πηγές (sources) και, ανάλογα με το αν οφείλονται στην ανθρώπινη δραστηριότητα ή όχι, διακρίνονται σε ανθρωπογενείς (anthropogenic) και φυσικές (natural) πηγές. Οι τελευταίες, λόγω της καλής διασποράς τους, δεν παρουσιάζουν σε μικρές γεωγραφικές περιοχές (π.χ. αστικές περιοχές και βιομηχανικές ζώνες) υψηλές συγκεντρώσεις, σε πλήρη αντίθεση με τις ανθρωπογενείς, οι συγκεντρώσεις των οποίων έχουν δημιουργήσει μεγάλα εντοπισμένα περιβαλλοντικά προβλήματα.

Γενικά, υπάρχουν επτά βασικές ομάδες ρύπων που προκαλούν ατμοσφαιρική ρύπανση, όπως:1) ενώσεις που περιέχουν άνθρακα όπως CO_2, CO, υδρογονάνθρακες (HCs), τα παράγωγά τους και λοιπές πτητικές οργανικές ενώσεις (Volatile Organic Compounds, VOCs), 2) αζωτούχες ενώσεις όπως N_2O, NO_x, και αμμωνία (NH_3), 3) θειούχες ενώσεις όπως SO_x και υδρόθειο (H_2S), 4) αλογονούχες ενώσεις στις οποίες, συμπεριλαμβάνονται και οι τεχνητώς παρασκευαζόμενοι αλογονάναθρακες (halocarbons), 5) φωτοχημικά οξειδωτικά, τα οποία προκύπτουν από τις αντιδράσεις ενεργών οργανικών ουσιών και NO_x παρουσία ηλιακού φωτός, με κυριότερο από αυτά το όζον (O_3), 6) σωματιδιακοί ρύποι και αερολύματα και τέλος 7) διάφοροι τοξικοί και επικίνδυνοι ρύποι (π.χ. εξαχλωροβενζόλιο, υδράργυρος, μόλυβδος κ.ά.). Πρωτογενείς ονομάζονται οι ρύποι που εκπέμπονται απευθείας από την πηγή στην ατμόσφαιρα (π.χ. CO, NO_x, SO_x, VOCs κ.ά.), ενώ οι δευτερογενείς σχηματίζονται μέσα σε αυτή, ως αποτέλεσμα χημικού μετασχηματισμού από τούς πρωτογενείς (π.χ. SO_3, O_3, θειικό αμμώνιο κ.ά.) (Καλλία & Σαμαρά, 2007; Γεντεκάκης, 2010).

Σήμερα, τα κυριότερα φαινόμενα ατμοσφαιρικής ρύπανσης είναι το ενισχυμένο Φαινόμενο του Θερμοκηπίου, λόγω της (ανθρωπογενούς) αύξησης των συγκεντρώσεων των θερμοκηπιακών αερίων, η Τρύπα του Όζοντος, λόγω της μείωσης των συγκεντρώσεων αυτού στη στρατόσφαιρα, η όξινη βροχή, καθώς και οι δύο κατηγορίες νέφους ρύπανσης όπως, η καπνομίχλη και το φωτοχημικό νέφος. Η σημαντικότερη επίπτωση των παραπάνω φαινομένων είναι η αλλαγή του παγκόσμιου κλίματος προς το χειρότερο.

Η αλλαγή του παγκόσμιου κλίματος μπορεί να οφείλεται τόσο σε φυσικές διεργασίες, όσο και σε ανθρωπογενείς δραστηριότητες. Μάλιστα, η UNFCCC παρουσιάζει την **κλιματική αλλαγή** ως την πιθανή μεταβολή στο κλίμα που οφείλεται άμεσα ή έμμεσα σε ανθρώπινες δραστηριότητες, διακρίνοντας τον όρο από τη **φυσική μεταβλητότητα**, η οποία έχει μόνο φυσικά αίτια (IPCC, 2007a).

Κύρια επίπτωση της κλιματικής αλλαγής είναι η τάση αύξησης της μέσης παγκόσμιας θερμοκρασίας, η οποία οφείλεται κυρίως στην ανθρωπογενή αύξηση των συγκεντρώσεων κάποιων εκ των αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα (και ειδικότερα του CO_2). Εκτός του CO_2, τα υπόλοιπα αέρια του θερμοκηπίου που συμμετέχουν στην ενίσχυση του φαινομένου είναι τα CH_4, N_2O, SF_6, NF_3 καθώς και οι PFCs & HFCs.

Από τα παραπάνω, εύκολα γίνεται αντιληπτό ότι το **Φαινόμενο του Θερμοκηπίου** αποτελεί, χωρίς καμμία αμφιβολία, το μεγαλύτερο σύγχρονο περιβαλλοντικό πρόβλημα, ακολουθούμενο πλέον από την **Τρύπα του Όζοντος**.

Το όζον αποτελεί μια τριατομική μορφή του οξυγόνου και απαντάται τόσο στη στρατόσφαιρα όσο και στην τροπόσφαιρα. Το **στρατοσφαιρικό όζον** αποτελεί το 90% του συνολικού όζοντος της ατμόσφαιρας, βρίσκεται σε μια διαρκή δυναμική ισορροπία μεταξύ της αντίδρασης σχηματισμού και της αντίδρασης διάσπασής του, αποτελεί δε προστατευτική ασπίδα για τα έμβια όντα, απορροφώντας μεγάλο μέρος της υπεριώδους (UV) ηλιακής ακτινοβολίας (καλό όζον). Η ισορροπία αυτή διαταράσσεται όταν εισέρχονται στη στρατόσφαιρα ουσίες χημικά σταθερές, που μπορούν να αποσπάσουν ένα άτομο οξυγόνου από το όζον όπως είναι το NO, κυρίως όμως το άτομο του χλωρίου των χλωροφθορανθράκων(CFCs) και των υδρογονοχλωροφθορανθράκων(HCFCs). Το μέτρο της επίδρασης αυτών των ουσιών στην καταστροφή του στρατοσφαιρικού όζοντος εκφράζεται από το Δυναμικό Ελάττωσης του Όζοντος (Ozone Depletion Potential, **ODP**), έναν δείκτη ο οποίος ορίζεται από το λόγο της επίδρασης μίας χημικής ουσίας στο όζον, σε σύγκριση με την επίδραση που έχει μια ίση σε μάζα ποσότητα της ουσίας αναφοράς, που είναι το CFC-11. Το 1991 άρχισε η παρασκευή των υδρογονοφθορανθράκων (HFCs) προκειμένου να υποκαταστήσουν τα CFCs και HCFCs, αφού οι νέες αυτές ουσίες δεν περιέχουν στο μόριό τους χλώριο και έτσι θεωρούνται ακίνδυνες για το στρατοσφαιρικό όζον. Από την άλλη πλευρά, το **τροποσφαιρικό όζον** αποτελεί το υπόλοιπο 10% του ατμοσφαιρικού όζοντος, ανήκει στα αέρια του θερμοκηπίου και είναι ο κυριότερος δευτερογενής ρύπος-αφού συμμετέχει στο φωτοχημικό φαινόμενο-προκαλώντας προβλήματα όχι μόνο στον άνθρωπο, αλλά και στη χλωρίδα και την πανίδα (κακό όζον) (Καλλία & Σαμαρά, 2007; Ζάνης, 2008; Γεντεκάκης, 2010).

Το Φαινόμενο του Θερμοκηπίου υπήρχε ανέκαθεν και δεν είναι επιβλαβές. Τουναντίον, είναι ουσιώδες και απαραίτητο για τη ζωή πάνω στη Γη. Το ανησυχητικό είναι η 'ενίσχυση' του φαινομένου λόγω της αύξησης των συγκεντρώσεων κάποιων εκ των θερμοκηπιακών αερίων εξαιτίας ανθρώπινων δραστηριοτήτων, γεγονός που οδηγεί στην περαιτέρω θέρμανση (υπερθέρμανση) του πλανήτη. Το CO_2 είναι το θερμοκηπιακό αέριο που συμμετέχει κυρίως στο σύνολο της ενίσχυσης του Φαινομένου του Θερμοκηπίου (κατά 50-60% περίπου) ενώ ακολουθεί το CH_4 (20-30% περίπου). Επίσης, δεν πρέπει να ξεχνάμε και το άλλο βασικό αέριο του θερμοκηπίου πέραν του CO_2, τους υδρατμούς (H_2O), οι συγκεντρώσεις των οποίων επηρεάζονται σε μικρότερο βαθμό από την ανθρώπινη παρέμβαση, οι οποίοι όμως συμμετέχουν σημαντικά στον φυσικό

μηχανισμό του φαινομένου, όχι όμως και στην ενίσχυσή του (Μελάς κ.ά., 2000; Σκορδούλης & Σωτηράκου, 2005; Παπαγιάννης, 2005; IPCC, 2007b; IPCC, 2007c).

Παρομοίως με τον δείκτη ODP, ορίζεται και ο δείκτης 'δυναμικού συμβολής στο Φαινόμενο του Θερμοκηπίου (ή, στην Παγκόσμια Θέρμανση)' (Global Warming Potential, **GWP**), σύμφωνα με τον οποίο τα θερμοκηπιακά αέρια κατατάσσονται σε μια κλίμακα αναλόγως με την ανά μονάδα μάζας επίδραση που ασκούν στην ενίσχυση του φαινομένου. Πιο συγκεκριμένα, ως GWP ενός αερίου ορίζεται η δυνατότητα 1kg του αερίου να συνεισφέρει στην ενίσχυση του φαινομένου, σε σύγκριση με εκείνη που εμφανίζει 1kg του αερίου αναφοράς, που καθιερώθηκε να είναι το CO_2(IPCC, 2007c; Γεντεκάκης, 2010).

Οι σημαντικότερες (πιθανές) επιπτώσεις του ενισχυμένου Φαινομένου του Θερμοκηπίου είναι: 1)Η αύξηση της μέσης παγκόσμιας θερμοκρασίας, η οποία θα επηρεάσει δυσμενώς όλα τα οικοσυστήματα, 2)η αύξηση της συχνότητας εμφάνισης φαινομένων ξηρασίας και υποβάθμισης εδαφών, καθώς και ακραίων καιρικών συνθηκών, 3)η τήξη των πάγων στους Πόλους, με αποτέλεσμα την άνοδο της στάθμης των θαλασσών, 4)η μετακίνηση των ζωνών βροχοπτώσεων από τον Ισημερινό προς βορρά, ερημοποίηση του κάτω τμήματος της εύκρατης ζώνης ανάμεσα στον 20° και 40° παράλληλο, και πίεση στους υδάτινους πόρους αρκετών περιοχών, και 5) αύξηση εντόμων και παρασίτων, γεγονός που βοηθά και στην εξάπλωση μολυσματικών ασθενειών. Ωστόσο, υπάρχουν και κάποια σενάρια ευνοϊκών επιπτώσεων, όπως η μείωση της κατανάλωσης καυσίμων και η αύξηση της αγροτικής παραγωγής (Σκορδούλης & Σωτηράκου, 2005; Καλλία & Σαμαρά, 2007).

Σκοπός λοιπόν της παρούσης εργασίας είναι να διερευνηθούν μέθοδοι που μπορούν να συνδράμουν, έστω και μερικώς, στην ελαχιστοποίηση των εκπομπών των (ανθρωπογενών) αερίων του θερμοκηπίου από διάφορες μηχανές ή διεργασίες, αναδεικνύοντας νέες τεχνολογίες ή βελτιώνοντας τις ήδη υπάρχουσες και οι οποίες βρίσκουν εφαρμογή στον αγροτικό χώρο (αγροτικές και αγροτοβιομηχανικές κτηριακές εγκαταστάσεις και διεργασίες).

2. ΣΥΜΒΑΣΕΙΣ-ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΑ & ΔΡΑΣΕΙΣ

Έπρεπε να παρέλθουν 163 χρόνια από τότε που ο Fourier (1824) περιέγραψε για πρώτη φορά αυτό που είναι γνωστό σήμερα ως Φαινόμενο του Θερμοκηπίου, μέχρι το 1987, μια χρονιά ορόσημο για το περιβάλλον (υπογραφή του Πρωτοκόλλου του Μόντρεαλ), αφού αποτέλεσε την πρώτη συγκροτημένη προσπάθεια πολλών κρατών για την προστασία του περιβάλλοντος, με διοργανωτή τον ΟΗΕ (Δημητριάδης, 2011). Τη διάσκεψη του Μόντρεαλ διαδέχθηκε αυτή του Τορόντο το 1988. Την ίδια χρονιά ιδρύεται η Διακυβερνητική Επιτροπή για την Κλιματική Αλλαγή (Intergovernmental Panel On Climate Change, IPCC), ένα διεπιστημονικό και διακυβερνητικό σώμα στο οποίο ανατέθηκε η αξιολόγηση, μέσω ειδικών εκθέσεων (Assessment Reports, AR), των κινδύνων της αλλαγής του κλίματος που προκαλούνται από τις ανθρώπινες δραστηριότητες. Το Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ υπήρξε αποτέλεσμα της ανακάλυψης της Τρύπας του Όζοντος στην Ανταρκτική το 1985. Οι κυβερνήσεις που έλαβαν μέρος στη διάσκεψη, αναγνώρισαν την ανάγκη λήψης μέτρων για την περιστολή της παραγωγής και της κατανάλωσης ουσιών που ελαπτώνουν τις συγκεντρώσεις του στρατοσφαιρικού όζοντος, όπως οι CFCs και οι HCFCs αργότερα, βάσει ενός χρονοδιαγράμματος εξάλειψης το οποίο θα μπορούσε να αναθεωρείται και τροποποιείται ανάλογα με τις περιοδικές επιστημονικές & τεχνολογικές εξελίξεις. Το 2007 οι στόχοι του πρωτοκόλλου, όπως αυτό είχε διαμορφωθεί από το 1997, είχαν επιτευχθεί κατά το 95%, ποσοστό που το καθιστά, 26 χρόνια μετά, το πιο επιτυχημένο εγχείρημα όσον αφορά τα περιβαλλοντικά ζητήματα (Δημητριάδης, 2011).

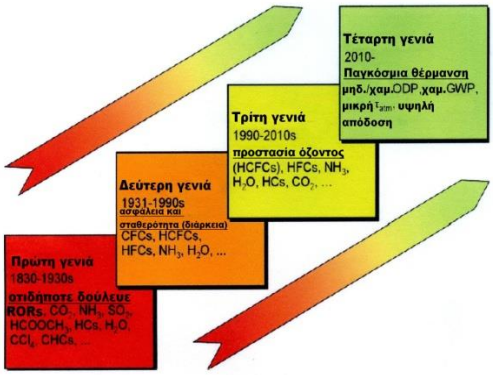
Η πρώτη διάσκεψη που αφορούσε το πρόβλημα της Κλιματικής Αλλαγής πραγματοποιήθηκε από τα Ηνωμένα Έθνη το 1992 στη Νέα Υόρκη και κατέληξε στην υπογραφή ενός κειμένου, κατά το ίδιο έτος στο Ρίο από 154 χώρες, που ονομάστηκε Σύμβαση-Πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για την Κλιματική Αλλαγή (UNFCCC) και άρχισε να ισχύει το 1994. Έτσι, ξεκίνησαν οι διασκέψεις (COPs) με σκοπό τη μελέτη των δεδομένων που θα είχαν τα συμβαλλόμενα μέρη στα χέρια τους, που οδήγησαν αρχικά στην έγκριση του Πρωτοκόλλου του Κιότο το 1997, καθώς και στις αναθεωρήσεις αυτού μέχρι και σήμερα.

Το Πρωτόκολλο του Κιότο υιοθετήθηκε από 37 βιομηχανοποιημένες χώρες, τέθηκε δε σε ισχύ στις 16 Φεβρουαρίου 2005. παρέμβασης) για 37 βιομηχανοποιημένες χώρες καθώς και για την Ευρωπαϊκή Ένωση, αποτελώντας έναν 'οδικό χάρτη', στον οποίο περιλαμβάνονται τα απαραίτητα βήματα για τη μακροπρόθεσμη αντιμετώπιση της. Τα κράτη που το έχουν συνυπογράψει δεσμεύονται να ελαπτώσουν τις εκπομπές των έξι θερμοκηπιακών αερίων κατά 5% σε σχέση με αυτές του 1990 στην πρώτη δεσμευτική περίοδο (2008-2012), και κατά 18% στη δεύτερη δεσμευτική περίοδο (2013-2020), συμπεριλαμβάνοντας όμως και το NF_3. Αναγνωρίζεται ότι κύριοι υπεύθυνοι για τα υψηλά επίπεδα εκπομπών είναι οι αναπτυγμένες χώρες (αποτέλεσμα της βιομηχανικής τους δραστηριότητας για περισσότερα από 150 χρόνια), όπως και η Σύμβαση-Πλαίσιο, λόγος για τον οποίο το πρωτόκολλο τοποθετεί ένα βαρύτερο φορτίο στα αναπτυγμένα κράτη κάτω από την αρχή 'κοινές αλλά διαφοροποιημένες ευθύνες'. Ωστόσο, το Δεκέμβριο του 2008 το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο ενέκρινε μια πιο αυστηρή δέσμη μέτρων, η οποία έγινε νόμος τον Ιούνιο του 2009. Το πακέτο αυτό προτάσεων (ή 'οδηγία 20-20-20'), θέτει στόχους στην Ευρωπαϊκή Ένωση για το έτος 2020 (με έτος βάσης το 1990): α) Μείωση των εκπομπών των γνωστών αερίων του θερμοκηπίου κατά τουλάχιστον 20% κάτω από τα

επίπεδα του 1990, β) Μείωση κατά 20% της κατανάλωσης ενέργειας της Ε.Ε. να προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές και γ) Μείωση κατά 20% στη χρήση πρωτογενούς ενέργειας σε σύγκριση με τα προβλεπόμενα επίπεδα, μέσω της βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης.

3. ΜΗΧΑΝΕΣ, ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ & ΕΡΓΑΖΟΜΕΝΑ ΡΕΥΣΤΑ

Οι θερμικές μηχανές λειτουργώντας σε θερμοδυναμικό κύκλο, απορροφούν θερμότητα από ένα θερμοδοχείο, μετατρέπουν ένα μέρος της σε μηχανικό έργο (το οποίο είναι και η αποστολή τους), ενώ αποβάλλουν το υπόλοιπο αυτής σε ένα ψυχροδοχείο. Η διεργασία πραγματοποιείται παρουσία κάποιου ρευστού το οποίο ονομάζεται 'εργαζόμενο ρευστό' και παίζει το ρόλο του υλικού φορέα της θερμότητας. Η αντίστροφη διεργασία, δηλαδή η μεταφορά θερμότητας από ένα μέσο χαμηλής θερμοκρασίας (ψυχροδοχείο) σε ένα μέσο υψηλής θερμοκρασίας (θερμοδοχείο), προκειμένου το μέσο αυτό να διατηρηθεί σε θερμοκρασία μικρότερη από αυτή του θερμότερου περιβάλλοντος, ονομάζεται ψύξη και, απαιτεί για την πραγματοποίησή της τη δαπάνη μηχανικής ενέργειας. Η πιο συνηθισμένη μέθοδος ψύξης είναι αυτή της ατμοποίησης κάποιου υγρού (εργαζόμενο ρευστό) το οποίο και εδώ παίζει τον ρόλο του υλικού φορέα της θερμικής ενέργειας, αλλά κατά την αντίστροφη φορά. Η ιστορική εξέλιξη των εργαζομένων ρευστών σε θερμικές και ψυκτικές μηχανές περιλαμβάνει τέσσερεις γενιές, οι οποίες παρουσιάζονται στό Σχήμα 1.

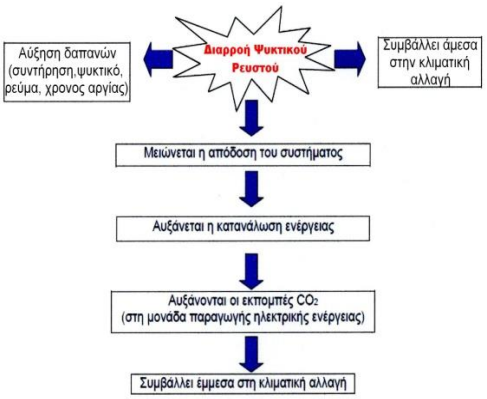


Σχήμα 1. Εξέλιξη των ψυκτικών ρευστών (Πηγή : Calm, 2008)

Σήμερα (τέταρτη γενιά), η επικρατούσα τάση προτάσσει τη χρήση και την παραγωγή εργαζόμενων φυσικών ρευστών και γενικά ουσιών οι οποίες να συμβάλουν πρωτίστως, κατά το ελάχιστο στην περαιτέρω ενίσχυση του Φαινομένου του Θερμοκηπίου και την επακόλουθη υπερθέρμανση του πλανήτη, ενώ θεωρείται δεδομένη η μη συμμετοχή τους στο φαινόμενο ελάπτωσης των συγκεντρώσεων του όζοντος στη στρατόσφαιρα (μηδενικό ή αμελητέο ODP, χαμηλό GWP).

Όπως αναφέρθηκε, το δυναμικό παγκόσμιας υπερθέρμανσης (GWP) αποτελεί ένα δείκτη της συμβολής των αερίων του θερμοκηπίου στην ενίσχυση του φαινομένου (σε σύγκριση με το βασικό θερμοκηπιακό αέριο, το CO_2). Στην ουσία, ο δείκτης αυτός επιτρέπει τη μετατροπή των χημικών εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου σε ισοδύναμες εκπομπές CO_2, υπάρχοντας έτσι μια κοινή βάση που να επιτρέπει τη σύγκριση της επίδρασης/συμβολής που το καθένα παρουσιάζει μετά την πάροδο ενός διευκρινισμένου χρονικού διαστήματος, το οποίο αποκαλείται 'χρονικός ορίζοντας ολοκλήρωσης' (Integration Time Horizon, ITH), που συνήθως η διάρκειά του είναι εκατονταετής. Πολλά από τα χρησιμοποιούμενα ρευστά αποτελούν ισχυρότατα αέρια του θερμοκηπίου, με πρωταγωνιστές τους συνθετικούς αλογονάνθρακες και ειδικότερα τους κορεσμένους υδρογονοφθοράνθρακες (HFCs) να αποτελούν σήμερα την αιχμή του δόρατος, σε ότι αφορά τα βιομηχανικής προέλευσης θερμοκηπιακά αέρια (Fischer et al., 1991; Sand et al., 1997; Λεβέντη, 2008; Λεβέντη και Λαμπρινός, 2009).

Τα κριτήρια επιλογής ψυκτικών ρευστών ταξινομούνται σε βασικές κατηγορίες όπως περιβαλλοντικά, θερμοδυναμικά, ασφαλείας, τεχνικά και οικονομικά κριτήρια. Στα τεχνικά κριτήρια συμπεριλαμβάνονται και οι διαρροές τους, των οποίων οι αρνητικές επιπτώσεις παρουσιάζονται με περιεκτικό τρόπο στο Σχήμα 2.



Σχήμα 2. Επιπτώσεις της διαρροής ψυκτικού ρευστού (Πηγή : Δάλλας, 2010)

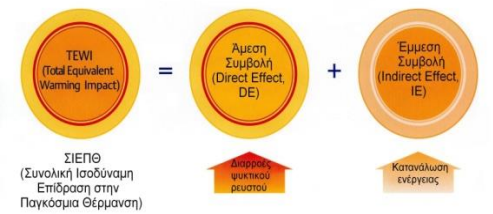
4. ΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟ ΑΠΟΤΥΠΩΜΑ

Ο όρος 'περιβαλλοντικό αποτύπωμα' έχει επικρατήσει να σημαίνει το σύνολο των εκπομπών του CO_2 και των υπολοίπων αερίων του θερμοκηπίου (εκφρασμένες σε ισοδύναμες ποσότητες CO_2) που οφείλονται στην ανθρωπογενή δραστηριότητα (Μάντζου κ.ά., 2006; Wiedmann & Minx, 2008) και έχει την ίδια σημασία με τον γενικό όρο 'περιβαλλοντική (ανθρωπογενής) επίδραση', αφού περιγράφει το εκάστοτε αποτέλεσμα των ανθρώπινων επιδράσεων στο περιβάλλον και, συνήθως, αποτελεί περιβαλλοντικό πρόβλημα, όπως το ενισχυμένο Φαινόμενο του Θερμοκηπίου.

Ο υπολογισμός και η σύγκριση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος γίνεται μέσω διεθνών προσεγγιστικών μεθόδων. Η βέλτιστη

χρήση τους εξασφαλίζεται όταν χρησιμοποιούνται για τη διενέργεια συγκρίσεων μεμονωμένων εγκαταστάσεων ή μερών κάποιου συστήματος (π.χ. εξοπλισμός κλιματισμού) και δεν παρέχουν πληροφορίες "γενικής χρήσεως". Σε κάθε περίπτωση, το πεδίο ανάλυσης θα πρέπει να ορίζεται και να εξετάζεται με σαφήνεια, λαμβάνοντας υπόψη παράλληλα και τις εκάστοτε απαιτήσεις (IPCC/TEAP, 2005).

Η 'Συνολική Ισοδύναμη Επίδραση στην Παγκόσμια Θέρμανση', **ΣΙΕΠΘ** (Total Equivalent Warming Impact, **TEWI**), αποτελεί μια προσέγγιση η οποία έχει το πιο περιορισμένο πεδίο εφαρμογής, αφού ασχολείται με την συνολική επίδραση που ασκούν στην ενίσχυση του Φαινομένου του Θερμοκηπίου εργαζόμενα ρευστά μέσα στον εξοπλισμό ή την διαδικασία στην οποία συμμετέχουν κατά τη περίοδο λειτουργίας αλλά και κατά τον παροπλισμό, όπου τα ρευστά αυτά σε μεγάλο ποσοστό πρέπει να ανακτώνται, οδεύοντας προς ανακύκλωση και επαναχρησιμοποίηση και όχι προς απόρριψη στο περιβάλλον όπως συχνά συμβαίνει. Η επίδραση του εργαζόμενου ρευστού μπορεί να είναι τόσο άμεση, από την απευθείας απελευθέρωσή του στην ατμόσφαιρα, όσο και έμμεση, λόγω των διαφόρων ποσοτήτων CO_2 που εκλύονται κατά τη διαδικασία παραγωγής της ενέργειας που τροφοδοτεί τον συγκεκριμένο εξοπλισμό ή απορροφάται από τη διαδικασία (Σχήμα 3). Είναι κατάλληλη και χρήσιμη για τα περισσότερα συστήματα, χωρίς όμως να εξετάζει την περιβαλλοντική επίδραση κατά την παρασκευή του ρευστού ή του εξοπλισμού, κατά την οποία υπάρχουν ανεξέλεγκτες εκπομπές (fugitive emissions) και φυσικά δαπανάται ενέργεια, η οποία ονομάζεται ενσωματωμένη ενέργεια (embodied energy) στην εγκατάσταση. Η ενσωματωμένη αυτή ενέργεια προκαλεί έμμεσες εκπομπές, που μπορεί να είναι σημαντικές, όπως και οι ανεξέλεγκτες εκπομπές, γεγονός που οδήγησε στην προσέγγιση της "Κλιματικής Απόδοσης στον Κύκλο Ζωής" (Life Cycle Climate Performance, **LCCP**).



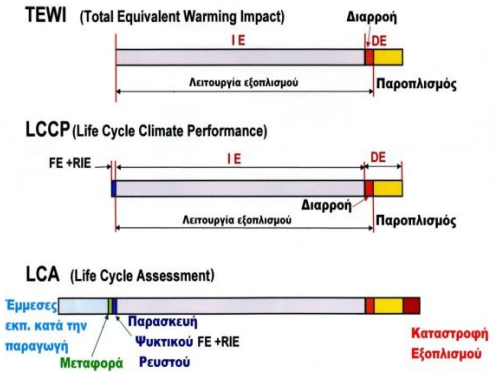
Σχήμα 3. Οι συνιστώσες του δείκτη TEWI (Πηγή : Beeton et al., 2008)

Στην LCCP μπορεί να αποκτηθεί μια πιο ολοκληρωμένη εικόνα της επίδρασης, αφού περιλαμβάνει για κάθε εργαζόμενο ρευστό τις μερικές επιδράσεις από την παρασκευή του, την αποθήκευσή του, την πλήρωσή του εξοπλισμού, τη λειτουργία και τις εργασίες συντήρησης και επισκευής του εξοπλισμού, καθώς και από την μερική ανάκτηση ή απελευθέρωσή του στο τέλος της ζωής του εξοπλισμού (παροπλισμός). Ωστόσο, τόσο η προσέγγιση TEWI όσο και η LCCP εξετάζουν μόνο την κλιματική επίδραση. Αυτό είναι λογικό για τις περιπτώσεις όπου η κύρια περιβαλλοντική επίδραση επηρεάζει το κλίμα.

Η τελευταία προσέγγιση "Εκτίμηση του Κύκλου Ζωής" (Life Cycle Assessment, **LCA**) είναι πιο περιεκτική για την αξιολόγηση-εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιδράσεων διαφόρων τεχνολογιών, ενώ είναι σαφώς ευρύτερη, αφού περιλαμβάνει τις περιβαλλοντικές επιδράσεις και των υπολοίπων εισροών-εκροών του συστήματος, επιπλέον εκείνων που συνδέονται με την λειτουργία. Η μεθοδολογία LCA αναπτύχθηκε και επισημοποιήθηκε από τις σειρές ISO14040 των διεθνών προτύπων. Χαρακτηρίζεται μάλιστα ως μια προσέγγιση "από το λίκνο μέχρι τον τάφο" (from cradle to grave), αφού ξεκινά με τη συγκέντρωση των πρώτων υλών από τη Γη, για τη δημιουργία του προϊόντος ή του εξοπλισμού που χρησιμοποιείται σε μια διαδικασία ή υπηρεσία, ενώ τελειώνει στο σημείο όπου όλα τα υλικά επιστρέφουν στη Γη. Έτσι, καθίσταται δυνατή τόσο η πλήρης αποτίμηση των συσσωρευτικών περιβαλλοντικών επιδράσεων που απορρέουν από όλα τα στάδια ζωής ενός προϊόντος, μιας διαδικασίας ή μιας υπηρεσίας (δηλ. μιας τεχνολογίας), όσο και η αποτίμηση όλων αυτών των σταδίων ζωής ως προς την αλληλεξάρτησή τους, γεγονός που σημαίνει ότι η μια λειτουργία οδηγεί στην επόμενη (IPCC/TEAP, 2005; Μάντζου κ.ά., 2006). Είναι η μοναδική προσέγγιση που καλύπτει όλα τα στάδια ζωής, περιέχονται όλες οι διαδικασίες και περιβαλλοντικές επιδράσεις, αποτελώντας ένα χρήσιμο εργαλείο για τη σύγκριση των περιβαλλοντικών επιδράσεων δύο ή περισσότερων εναλλακτικών προϊόντων, διαδικασιών ή υπηρεσιών, βοηθώντας έτσι και στην αποκάλυψη ασθενών σημείων, στη βελτίωση των προϊόντων, στη σύγκριση με άλλα εναλλακτικά πρότυπα και στην ανεύρεση εκείνων των (απαραίτητων) λόγων που θα δικαιολογούν τη σύσταση δράσεων (Μάντζου κ.ά., 2006; Καραγιάννης, 2010). Στο Σχήμα 4 απεικονίζονται οι διαφορές μεταξύ των τριών μεθόδων προσέγγισης TEWI, LCCP & LCA ενός εργαζόμενου ρευστού και του εξοπλισμού στο οποίο αυτό περιέχεται και εργάζεται (π.χ. θερμική μηχανή ατμού ή μια αντλία θερμότητας), όπου το στάδιο της πιθανής καταστροφής του ρευστού αγνοείται από τη στιγμή που η αποτελεσματικότητά της κυμαίνεται από 99-99.99%, γεγονός που συνεπάγεται αμελητέες εκπομπές. Οι έμμεσες εκπομπές κατά την παραγωγή που εξετάζει η LCA, σχετίζονται με τις πρώτες ύλες για την παρασκευή ρευστού και εξοπλισμού. Έτσι, DE είναι οι άμεσες εκπομπές (η αλλιώς άμεση συμβολή), IE οι έμμεσες εκπομπές (έμμεση συμβολή), FE οι ανεξέλεγκτες εκπομπές και RIE οι εκπομπές της ενσωματωμένης ενέργειας.

Η προσέγγιση LCCP μπορεί να θεωρηθεί ως υπομέθοδος της LCA, ενώ η TEWI ως υπομέθοδος της LCCP, που ωστόσο παραμένει η βασική, δίνοντας βάρος στη λειτουργία και τον παροπλισμό της εγκατάστασης. Η προσέγγιση που επιλέγεται κάθε φορά εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το

πλαίσιο μέσα στο οποίο γίνεται η μελέτη. Εάν οι απαιτούμενες πληροφορίες σχετίζονται με τις επιδράσεις στο κλίμα ενός αριθμού εναλλακτικών προσεγγίσεων, προκειμένου να επιτευχθεί κάτι για το κοινωνικό καλό, τότε οι LCCP και TEWI προσεγγίσεις είναι ικανές να παρέχουν επαρκή πληροφόρηση. Ωστόσο, με τη χρήση αυτών των προσεγγίσεων θα αγνοηθούν όλες οι υπόλοιπες περιβαλλοντικές επιδράσεις τις οποίες εξετάζει η LCA, υποθέτοντας ότι αυτές θα είναι παρόμοιες για όλες τις εναλλακτικές τεχνολογίες. Το ίδιο συμβαίνει και μεταξύ των LCCP και TEWI : όταν επιλέγεται η TEWI αγνοούνται οι επιδράσεις της LCCP, είτε επειδή είναι παρόμοιες (κατά τη σύγκριση μεταξύ τεχνολογιών) ή/και αρκετά μικρές (σε σχέση με αυτές που εξετάζει η TEWI) είτε επειδή τα όρια του συστήματος καλύπτονται πλήρως από την TEWI (IPCC/TEAP, 2005).



Σχήμα 4. Διαφορές μεταξύ TEWI, LCCP & LCA (Πηγή: Onishi et al., 2004)

Οι συνθετικοί αλογονάνθρακες και γενικότερα τα οργανικά εργαζόμενα ρευστά (CFCs, HCFCs, HFCs) αποτελούν ενώσεις που χρησιμοποιούνται σε μια πληθώρα εφαρμογών, οι οποίες δεν ανήκουν μόνο στον τομέα της ψύξης, του κλιματισμού και της παραγωγής μηχανικής ενέργειας με θερμική μηχανή ατμού (όπου εκεί χρησιμοποιούνται ως εργαζόμενα ρευστά), αλλά και στους τομείς μόνωσης (ως μέσα διόγκωσης), καθαρισμού μέσω διαλυτών και ως προωθητικά αέρια. Σύμφωνα λοιπόν τόσο με το Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ όσο και του Κιότο, οι παραπάνω τομείς θα πρέπει να ελέγχονται και από τα δύο, μιας και χρησιμοποιούν CFCs και HCFCs. Όμως, όσον αφορά τον τομέα ψύξης και κλιματισμού, από τη στιγμή που τα CFCs έχουν καταργηθεί και τα HCFCs βρίσκονται σε περίοδο σταδιακής τους κατάργησης, ο χώρος αυτός ελέγχεται μόνο από το Πρωτόκολλο του Κιότο, αφού τα HFCs αποτελούν ισχυρά αέρια του θερμοκηπίου, χωρίς αυτό να σημαίνει ότι τα CFCs και τα HCFCs δεν αποτελούν, αλλά απλά δεν χρησιμοποιούνται πλέον ή αποφεύγεται η χρήση τους (Fischer et al., 1991).

Προκειμένου να υπολογιστεί, σύμφωνα με την προσέγγιση TEWI, το περιβαλλοντικό αποτύπωμα του εξοπλισμού (ή μιας διαδικασίας) που περιέχει και χρησιμοποιεί για τη λειτουργία του συνθετικούς αλογονάνθρακες (ιδίως φθοράνθρακες-HFCs και HFOs) όπως είναι π.χ. οι αντλίες θερμότητας, πρέπει να υπολογιστούν η **άμεση συμβολή** τους στην παγκόσμια θέρμανση, λόγω της έκλυσης στην ατμόσφαιρα των εργαζόμενων (ψυκτικών) ρευστών κατά το στάδιο της χρήσιμης διάρκειας ζωής τους (διαρροές) και το στάδιο παροπλισμού τους, αλλά και η **έμμεση συμβολή,** μέσω του CO_2 που απελευθερώνεται για την παραγωγή της απαιτούμενης ηλεκτρικής ενέργειας που τροφοδοτεί τα παραπάνω συστήματα κατά το στάδιο της χρήσιμης διάρκειας ζωής τους (Sand et al., 1997). Προκειμένου οι δύο αυτές συμβολές να συνδυάζονται με ευκολία, η άμεση συμβολή εκφράζεται σε ισοδύναμες ποσότητες CO_2, μέσω του δείκτη GWP. Τότε, εύκολα μπορεί να συνδυαστεί με την έμμεση από τις εκπομπές CO_2, με αποτέλεσμα η συνδυασμένη ή συνολική εκτιμώμενη συμβολή τους (Σχήμα 3) να αποτελεί και την 'Συνολική Ισοδύναμη Επίδραση στην Παγκόσμια Θέρμανση' (TEWI) (Fischer et al., 1991), αποτελώντας στην ουσία έναν δείκτη που εκφράζει το μέτρο του περιβαλλοντικού αποτυπώματος ουσιών που αποτελούν αέρια του θερμοκηπίου και χρησιμοποιούνται από ένα προϊόν, μια διαδικασία ή μια τεχνολογία, βοηθώντας έτσι στην προσπάθεια ποσοτικοποίησης του περιβαλλοντικού αποτυπώματός τους και έχοντας παράλληλα ως στόχο την τυποποίηση του υπολογισμού του (IPCC/TEAP, 2005).

Ο περιβαλλοντικός δείκτης TEWI, όσον αφορά τις εφαρμογές με χρήση αντλίας θερμότητας (θέρμανση, ψύξη, ξήρανση, ανάκτηση/αναβάθμηση θερμικής ενέργειας) ή τις εφαρμογές παραγωγής μηχανικής ενέργειας με ατμομηχανή Rankine, είναι πάντοτε ένα χρήσιμο εργαλείο για την αξιολόγηση και τη σύγκριση διαφόρων τεχνολογιών, κάποιες εκ των οποίων μπορεί να μην χρησιμοποιούν φθοράνθρακες και οι οποίες ονομάζονται χαρακτηριστικά "τεχνολογίες άλλου είδους" (Not In Kind technologies, NIK) (Fischer et al., 1994). Σε αυτές ανήκουν οι ψυκτικές μηχανές συμπίεσης ατμών φυσικών ψυκτικών ρευστών (αμμωνία, υδρογονάνθρακες, διοξείδιο του άνθρακα, κ.λ.π.), οι ψυκτικές μηχανές ρόφησης, ο εξατμιστικός δροσισμός, η θερμοηλεκτρική ψύξη, κ.α. Ακόμη, μπορούν να συγκριθούν και τεχνολογίες που χρησιμοποιούν συμβατικές ενεργειακές πηγές όπως πετρέλαιο, φυσικό αέριο, άνθρακα κ.ο.κ. Σε αυτές τις περιπτώσεις, οι τεχνολογίες αυτές παρουσιάζουν μηδενική άμεση συμβολή και αυτό που κατ' ουσία συγκρίνεται είναι η έμμεση συμβολή τους (με τον ενδεδειγμένο για την κάθε μία τρόπο υπολογισμού της).

Επίσης, ο δείκτης TEWI μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ελαχιστοποίηση των κλιματικών επιπτώσεων που παρουσιάζουν οι ήδη υπάρχουσες ή εγκατεστημένες τεχνολογίες, ενώ μια ιδιαίτερα πολύτιμη εφαρμογή του είναι κατά την κατασκευή ή ανακαίνιση αγροτοβιομηχανικών κτηρίων, όπου μπορεί να διευκολύνει στην επιλογή του τρόπου θέρμανσης-δροσισμού τους. Ωστόσο θα πρέπει να εξετάζεται μάλλον συγκριτικά, παρά απόλυτα, αφού κατά τον υπολογισμό του

υπεισέρχονται παραδοχές που εμπεριέχουν σημαντικό βαθμό αβεβαιότητας (Sand et al., 1997; IPCC/TEAP, 2005).

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Beeton, W., Buynacek, B. and Monnier, K., 2008. *Refrigerants for Residential and Commercial Air Conditioning Applications*. Emerson Climate Technologies, Sidney, Ohio, USA, 30 p.

Calm, J.M., 2008. *The Next Generation of Refrigerants-Historical Review, Considerations, and Outlook*. International Journal of Refrigeration, 31(2008) : 1123-1133.

Fischer, S.K., Hughes, P.J., Fairchild, P.D. (Oak Ridge National Laboratory), Kusik, C.L., Dieckmann, J.T., McMahon, E.M. and Hobday, N. (Arthur D. Little, Inc.), 1991. *Energy and Global Warming Impacts of CFC Alternative Technologies*. Sponsored by : Alternative Fluorocarbons Environmental Acceptability Study (AFEAS) & U.S. Department of Energy (DOE), Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee, USA, 520 p.

Fischer, S.K., Tomlinson, J.J. and Hughes, P.J., 1994. *Energy and Global Warming Impacts of Not-In-Kind and Next-Generation CFC and HCFC Alternatives*. Sponsored by : Alternative Fluorocarbons Environmental Acceptability Study (AFEAS) & U.S. Department of Energy (DOE), Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee, USA, 224 p.

IPCC, 2007a : *Climate Change 2007 : Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, Pachauri, R.K. and Reisinger, A. (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 104 p.

IPCC, 2007b : Le Treut, H., R. Somerville, U. Cubasch, Y. Ding, C. Mauritzen, A. Mokssit, T. Peterson and M. Prather, 2007 : Historical Overview of Climate Change Science. In : *Climate Change 2007 : The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

IPCC, 2007c : Solomon, S., D. Qin, M. Manning, R.B. Alley, T. Berntsen, N.L. Bindoff, Z. Chen, A. Chidthaisong, J.M. Gregory, G.C. Hegerl, M. Heimann, B. Hewitson, B.J. Hoskins, F. Joos, J. Jouzel, V. Kattsov, U. Lohmann, T. Matsuno, M. Molina, N. Nicholls, J. Overpeck, G. Raga, V. Ramaswamy, J. Ren, M. Rusticucci, R. Somerville, T.F. Stocker, P. Whetton, R.A. Wood and D. Wratt, 2007 : Technical Summary. In : *Climate Change 2007 : The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

IPCC/TEAP, 2005 : Metz, B., Kuijpers, L., Solomon, S., Andersen, S.O., Davidson, O., Pons, J., Jager, D., Kestin, T., Manning, M. and Meyer, L., (Eds). ***Safeguarding the Ozone Layer and the Global Climate System : Issues Related to Hydrofluorocarbons and Perfluorocarbons*.** Cambridge University Press, UK, 478 p.

Onishi, H., Yajima, R. and Ito, S., 2004. *LCCP of Some HVAC & R Applications in Japan*. Proceedings of the 15th Annual Earth Technologies Forum, 13-15 April 2004, Washington D.C., USA, 18 pp.

Sand, J.R., Fischer, S.K. and Baxter, V.D., 1997. *Energy and Global Warming Impacts of HFC Refrigerants and Emerging Technologies*. Sponsored by : Alternative Fluorocarbons Environmental Acceptability Study (AFEAS) & U.S. Department of Energy (DOE), Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee, USA, 215 p.

Wiedmann, T. and Minx, J., 2008. *A Definition of 'Carbon Footprint'*. In : C. C. Pertsova, Ecological Economics Research Trends : Chapter 1, pp. 1-11, Nova Science Publishers, Hauppauge NY, USA.

Γεντεκάκης, Ι., 2010. *Ατμοσφαιρική Ρύπανση : Επιπτώσεις, έλεγχος & εναλλακτικές τεχνολογίες, 2η έκδοση*. Εκδόσεις Κλειδάριθμος, Αθήνα, σ. 784.

Δάλλας, Φ., 2010. *Διαρροές Ψυκτικών Μέσων : Νομοθεσία και τρόποι αντιμετώπισης με Περιβαλλοντικά και Ενεργειακά Κριτήρια*. Διπλωματική Εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Τομέας Θερμότητας, σ. 174.

Δημητριάδης, Χ., 2011. *Κλιματική Αλλαγή, Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και Ελλάδα*. Διπλωματική Εργασία, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Πολυτεχνική Σχολή, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Εργαστήριο Μετάδοσης Θερμότητας & Περιβαλλοντικής Μηχανικής, σ. 129.

Ζάνης, Π., 2008. *Σημειώσεις για τη Ρύπανση και Χημεία της Ατμόσφαιρας*. Αδημοσίευτες Ηλεκτρονικές Σημειώσεις, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Γεωλογίας, Τομέας Μετεωρολογίας-Κλιματολογίας, σ. 116.

Καλλία, Α. και Σαμαρά, Κ., 2007. *Ατμοσφαιρική Ρύπανση και Κλιματική Αλλαγή : Πηγές-Επιπτώσεις-Νομικό Πλαίσιο*. Εκδόσεις Αντ. Ν. Σάκκουλα, Αθήνα-Κομοτηνή, σ. 190.

Καραγιάννης, Ι.Χρ., 2010. *Οικονομική και περιβαλλοντική αξιολόγηση συστημάτων αφαλάτωσης νερού με χρήση ανανεώσιμων και μη πηγών ενέργειας. Εναλλακτικές στρατηγικές στον ελληνικό νησιωτικό χώρο*. Διδακτορική Διατριβή, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Αγροτικής Οικονομίας και Ανάπτυξης, σ. 157.

Λεβέντη, Α., 2008. *Μεθοδολογία εκλογής κατάλληλου Ψυκτικού Ρευστού για Αντλία Θερμότητας*. Μεταπτυχιακή Διατριβή, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων &

Γεωργικής Μηχανικής, Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας, σ. 67.

Λεβέντη, Α. και Λαμπρινός, Γρ., 2009. *Νέα κριτήρια και μέθοδος επιλογής Ψυκτικών Ρευστών για Κλιματισμό*. Πρακτικά 6ου Εθνικού Συνεδρίου Γεωργικής Μηχανικής, 8-10 Οκτωβρίου 2009, Θεσσαλονίκη, σ. 729-736.

Μάντζου, Γ., Μπενέτου, Π. και Χαρίτου Α.Η., 2006. *Εκτίμηση Κύκλου Ζωής (LCA)*. Μεταπτυχιακή Εργασία, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Χημείας, Διαπανεπιστημιακό Διατμηματικό Π.Μ.Σ., ΔιΧηΝΕΤ, σ. 82.

Μελάς, Δ., Ασωνίτης, Γ. και Αμοιρίδης, Β., 2000. *Κλιματική Αλλαγή (Οδηγός εκπαιδευτικών)*. (τέως) Υπουργείο Εθνικής Παιδείας και Θρησκευμάτων (ΥΠ.Ε.Π.Θ.), Διεύθυνση Σπουδών Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης, Υποέργο ΕΠΕΑΕΚ 1.1.ΣΤ.1.Γ2, Ανάπτυξη εκπαιδευτικού υλικού για την Περιβαλλοντική Εκπαίδευση, Ανάδοχος φορέας : Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Αθήνα, σ. 41.

Παπαγιάννης, Α., 2005. *Φυσική Ατμοσφαιρικού Περιβάλλοντος*. Αδημοσίευτες Ηλεκτρονικές Σημειώσεις, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σ.Ε.Μ.Φ.Ε., Τομέας Φυσικής, σ. 60.

Σκορδούλης, Κ. και Σωτηράκου, Μ., 2005. *Περιβάλλον, Επιστήμη και Εκπαίδευση*. Εκδόσεις Leader Books, Αθήνα, σ. 303.

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΜΕ ΑΔΡΑΝΕΙΣ ΚΟΝΕΙΣ ΣΤΗ ΔΙΑΘΕΣΙΜΗ ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΚΑΙ ΤΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΦΥΛΛΩΝ ΡΟΔΑΚΙΝΙΑΣ

Περσεφόνη Μαλέτσικα[1], Νικόλαος Κατσούλας[2] και Γεώργιος Δ. Νάνος[1]
[1]Εργαστήριο Δενδροκομίας, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Οδός Φυτόκου, Νέα Ιωνία Μαγνησίας, Τ.Κ. 38446
[2]Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών και Ελέγχου Περιβάλλοντος, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Οδός Φυτόκου, Νέα Ιωνία Μαγνησίας, Τ.Κ. 38446
pmalets@yahoo.gr, nkatsoul@uth.gr, gnanos@agr.uth.gr

Μελετήθηκε η επίδραση των κόνεων καολίνη, τσιμέντου και εδάφους ως ρυπαντών σε δέντρα ροδακινιάς, στη διαθεσιμότητα φωτός στο δέντρο και στη θερμοκρασία φύλλου και καρπού. Σε ανεπτυγμένα δέντρα ροδακινιάς cv. Royal Glory εφαρμόστηκαν κόνεις τσιμέντου ή εδάφους ή διάλυμα εμπορικού σκευάσματος καολίνη περιοδικά από τον Ιούνιο έως τον Σεπτέμβριο. Μετρήθηκαν η προσπίπτουσα και ανακλώμενη φωτοσυνθετικά ενεργός ακτινοβολία (ΦΕΑ) και η υπεριώδης ηλιακή ακτινοβολία (UV), η σχέση ποσότητας κόνεως και διερχόμενης ΦΕΑ και UV και η ημερήσια πορεία της θερμοκρασίας φύλλου και καρπού κατά τα έτη 2010 και 2011. Η ύπαρξη του καολίνη φαίνεται να μείωσε σημαντικά τη διαθέσιμη στο εκτεθειμένο στον ήλιο φύλλο και να βελτίωσε τουλάχιστον μερικά τη διαθέσιμη στο εσωτερικό της κόμης ηλιακή ακτινοβολία. Παρόμοια αποτελέσματα βρέθηκαν και από την ύπαρξη της κόνεως τσιμέντου ή εδάφους στα φύλλα αλλά σε μικρότερο βαθμό από τον καολίνη. Η εφαρμογή καολίνη στις ροδακινιές προκάλεσε μείωση της θερμοκρασίας φύλλου κατά τις ώρες της ημέρας και όχι της νύκτας σε σχέση με τα φύλλα του μάρτυρα και εν μέρει, μείωση της θερμοκρασίας των φύλλων σε σχέση με τον αέρα. Αυτό οφείλεται στη σκίαση που προκαλεί η ύπαρξη της κόνεως στην επιφάνεια του φύλλου. Η εφαρμογή των ρυπαντών κόνεων τσιμέντου και εδάφους δεν τροποποίησε τη θερμοκρασία φύλλου, καθώς η μείωση του διαθέσιμου φωτός λόγω των κόνεων στην επιφάνεια των φύλλων, ήταν μικρή. Ακόμα, η θερμοκρασία καρπού παρουσία κόνεων ήταν παρόμοια με τη θερμοκρασία αέρα και τη θερμοκρασία των καρπών του μάρτυρα, εκτός από τους καρπούς που ψεκάσθηκαν με καολίνη, όπου η θερμοκρασία τους μειώθηκε σε σχέση με τον μάρτυρα.

Λέξεις κλειδιά: Prunus persica, καολίνης, αιωρούμενα σωματίδια, φωτοσυνθετικά ενεργός ακτινοβολία, UV ακτινοβολία

EFFECT OF CONTAMINATION WITH INERT DUSTS ON AVAILABLE SOLAR RADIATION AND LEAF TEMPERATURE OF PEACH TREES

Persefoni Maletsika[1], Nikolaos Katsoulas[2] and George D. Nanos[1]
[1] Laboratory of Pomology, School of Agricultural Sciences, University of Thessaly, Fitoko Str, N. Ionia, Magnesia, GR-38446, Greece
[2]Laboratory of Agricultural Constructions and Environmental Control, School of Agricultural Sciences, University of Thessaly, Fitoko Str, N. Ionia, Magnesia, GR-38446, Greece
pmalets@yahoo.gr, nkatsoul@uth.gr, gnanos@agr.uth.gr

The effect of kaolin, soil and cement dusts as contaminants on the available light and leaf and fruit temperature of peach trees was studied. On mature peach trees, cv. Royal Glory, kaolin or cement or soil dusts periodically from June to September were applied. The measurements included the incident and reflected photosynthetically active radiation (PAR) and ultraviolet radiation (UV), the relationship between dust quantity on leaf surface and PAR and UV transmission, and the diurnal leaf and fruit temperature during the years 2010 and 2011. Kaolin application significantly decreased the available PAR and UV to the leaf and improved the available light inside the tree canopy. Similar results, but less intense, were found for cement or soil dust application compared to kaolin application. Kaolin application on peach trees decreased the leaf temperature during the day, but not at night compared to control and partly decreased the leaf temperature compared to ambient temperature. This reduction is associated with the shade effect caused by dust accumulation on leaf surface. The application of cement and soil dusts on peach trees did not alter leaf temperature, even though the available light to the leaf decreased, due to the presence of dusts on leaf surface. In addition, peach fruit contaminated with cement and soil dusts had similar temperature with control fruit, while peach fruit sprayed with kaolin had lower temperature than control fruit.

Keywords: Prunus persica, kaolin, particulate matter, photosynthetically active radiation, UV radiation

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα αιωρούμενα σωματίδια αποτελούν ένα σημαντικό παράγοντα ατμοσφαιρικής ρύπανσης που συνδέεται με πλήθος επιπτώσεων στην ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον (Farmer 1993; Grantz et al., 2003). Η χώρα μας λόγω του ξηροθερμικού κλίματος και των μειωμένων βροχοπτώσεων επιβαρύνεται σε μεγάλο βαθμό από την εκπομπή αιωρούμενων σωματιδίων κατά τη βλαστική ανάπτυξη των φυλλοβόλων οπωροφόρων. Ένα σημαντικό μέρος των αιωρούμενων σωματιδίων αποτελούν και οι κόνεις. Οι κόνεις αποτελούνται από μικρά στερεά σωματίδια με αεροδυναμική διάμετρο που κυμαίνεται από 1 έως 100 μm που επικάθονται λόγω του

βάρους τους σε όλες τις επιφάνειες, αλλά δύνανται και να μεταφέρονται σε πολύ μεγάλες αποστάσεις από τον τόπο δημιουργίας τους (WHO/SDE/OEH/99.14).

Τα σωματίδια των κόνεων έχουν είτε φυσική καταγωγή όπως αερομεταφερόμενη κόνις από ερήμους είτε προέρχονται από ανθρωπογενείς πηγές όπως μη ασφαλτοστρωμένους δρόμους, αναμόχλευση του εδάφους, τσιμεντοβιομηχανίες και λατομεία. Τα σωματίδια των κόνεων επικάθονται στο υπέργειο τμήμα των φυτών και στο έδαφος και μπορεί να έχουν φυσικές και χημικές επιδράσεις σε αυτά (Farmer 1993; Grantz et al., 2003). Οι φυσικές επιδράσεις των κόνεων που συσσωρεύονται στα φυτά συνδέονται με τη σκίαση της επιφάνειας των φύλλων και των καρπών μειώνοντας τη διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία, καθώς και με το μπλοκάρισμα των στοματίων στα φύλλα παρεμβαίνοντας στην ανταλλαγή αερίων (Nanos and Ilias, 2007). Επιπλέον η συσσώρευση μη αδρανών κόνεων στις φυτικές επιφάνειες και το έδαφος μπορεί να προκαλέσει τοξικότητα και τροποποίηση της ανόργανης θρέψης των φυτών (Mandre et al., 1999).

Κάποιες κόνεις χρησιμοποιούνται για την αντιμετώπιση εχθρών και ασθενειών των φυτών. Πιο συγκεκριμένα, τα τελευταία έτη επεκτάθηκε η χρήση σε δενδροκομικές καλλιέργειες του καολίνη, με τη μορφή του film σωματιδίων, για τη μείωση των ζημιών από ζωικούς εχθρούς (Karagounis et al., 2006), αλλά χρησιμοποιείται και στη μείωση της καταπόνησης από ακραίες θερμοκρασίες (Glenn et al., 2002). Ο καολίνης αποτελείται από καολινίτη [$Al_4Si_4O_{10}(OH)_8$], ένα λευκό ορυκτό της αργίλου, διαθέσιμο σε μη πορώδη, λεπτόκοκκη, μη διογκούμενη βρέξιμη στο νερό εμπορική μορφή (Glenn and Puterka, 2005).

Σκοπός της εργασίας είναι η μελέτη της επίδρασης της συσσώρευσης καολίνη και των κόνεων τσιμέντου και εδάφους στη διαθεσιμότητα του φωτός στο δέντρο και στη θερμοκρασία φύλλου και καρπού σε δέντρα ροδακινιάς.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Το πείραμα διενεργήθηκε στο Αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας στο Βελεστίνο, σε δέντρα ροδακινιάς (*Prunus persica* L.), ποικιλίας 'Royal Glory' σε υποκείμενο GF677. Οι αποστάσεις φύτευσης των δέντρων είναι 5,00 m x 1,75 m και η άρδευση γίνεται με σταγόνες, με παροχή 80 L h^{-1}. Για την εφαρμογή καολίνη χρησιμοποιήθηκε το σκεύασμα SURROUND WP, καολίνης 95% w/w. Το τσιμέντο που χρησιμοποιήθηκε παρήχθη σε τοπική τσιμεντοβιομηχανία. Όσον αφορά την κόνιν εδάφους, έγινε λήψη εδάφους από ακαλλιέργητη έκταση του Αγροκτήματος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, το οποίο ξηράθηκε στους 80 ^oC και αλέστηκε ώστε να διέλθει από κόσκινο διαμέτρου 500 μm. Οι κόνεις τσιμέντου και εδάφους εφαρμόστηκαν ομοιόμορφα με επίπαση, αφού προηγήθηκε διαβροχή της κόμης των δέντρων. Οι κόνεις εφαρμόστηκαν περιοδικά από τον Ιούνιο έως τον Σεπτέμβριο τα έτη 2010 και 2011. Μια ομάδα δέντρων στα οποία δεν εφαρμόστηκε επίπαση χρησιμοποιήθηκαν ως μάρτυρες. Για τη μέτρηση της θερμοκρασίας φύλλου, επιλέχθηκαν δύο πλήρως φωτιζόμενα φύλλα ανά μεταχείριση στην κάτω επιφάνεια των οποίων και στο κεντρικό νεύρο, τοποθετήθηκαν θερμοζεύγη ως αισθητήρες μέτρησης θερμοκρασίας (Skye Instruments, Powys, UK). Οι μετρήσεις θερμοκρασίας φύλλου έγιναν κατά τις ημερομηνίες 13-25 Ιουλίου 2010 και 1-10 Σεπτεμβρίου 2011. Για τη μέτρηση της θερμοκρασίας καρπού επιλέχθηκαν δύο πλήρως φωτιζόμενοι καρποί ανά μεταχείριση και οι αισθητήρες τοποθετήθηκαν σε βάθος 3 mm από την επιφάνεια των καρπών. Οι αισθητήρες μέτρησης θερμοκρασίας συνδέθηκαν με καταγραφικό όργανο Data logger, DL 2e (Delta-T Devices, Cambridge, England). Οι μετρήσεις θερμοκρασίας καρπού έγιναν κατά το χρονικό διάστημα 6-14 Ιουλίου 2011. Για να μετρηθεί η διερχόμενη φωτοσυνθετικά ενεργός ακτινοβολία (ΦΕΑ) και υπεριώδης ακτινοβολία (UV), κατασκευάστηκε ένα πλαίσιο διαστάσεων 40 cm × 40 cm. Η μέτρηση της ΦΕΑ έγινε με το φορητό όργανο Quantum Meter (Model LQS-QM, Spectrum Technologies Inc, Plainfield, IL, USA) και εκφράστηκε σε μmol m^{-2} s^{-1}. Το όργανο διαθέτει ράβδο μήκους 50 cm με τρεις αισθητήρες που ισαπέχουν. Η μέτρηση της UV έγινε με το όργανο UV Meter (Model UVM, Spectrum Technologies Inc) που μετρά τα μήκη κύματος 250 nm - 400 nm και εκφράστηκε σε μmol m^{-2} s^{-1}. Στο πλαίσιο τοποθετούνταν πλαστικά film, στα οποία γινόταν εφαρμογή καολίνη και κόνεων τσιμέντου και εδάφους σε διάφορες ποσότητες, αλλά και πλαστικά film χωρίς κόνεις που χρησιμοποιήθηκαν ως μάρτυρες. Αρχικά γινόταν μέτρηση των ΦΕΑ και UV που διαπερνούσαν το πλαστικό film -μάρτυρα και αμέσως μετά γινόταν μέτρηση της ακτινοβολίας που διαπερνούσε το με διαφορετική ποσότητα κόνεως κάθε φορά, film. Οι διάφορες ποσότητες κόνεων που χρησιμοποιήθηκαν για την κάλυψη των film, προσομοιώνουν τη συσσώρευση των κόνεων στη φυτική επιφάνεια με την επαναληπτική εφαρμογή τους στα δέντρα. Μετά τις μετρήσεις της ακτινοβολίας, από το κάθε film λαμβάνονταν τέσσερις σκονισμένοι δίσκοι διαμέτρου 10 cm, γινόταν λήψη της κόνεως με μια μικρή βούρτσα και ζύγισμα της, για ποσοτικοποίηση της ρύπανσης. Οι ανωτέρω μετρήσεις έγιναν κατά το χρονικό διάστημα 20-27 Αυγούστου 2010. Με τα φορητά όργανα μέτρησης των ΦΕΑ και UV, μετρήθηκε η προσπίπτουσα και η ανακλώμενη ΦΕΑ και UV ακτινοβολία στο φύλλο και στην κόμη των δένδρων. Η μέτρηση της ακτινοβολίας στην κόμη έγινε σε κάθε δένδρο της κάθε μεταχείρισης και η μέτρηση της ακτινοβολίας στο φύλλο έγινε σε δύο φύλλα ανά δένδρο της κάθε μεταχείρισης. Οι μετρήσεις έγιναν στις 11 Αυγούστου 2011 κατά το χρονικό διάστημα 10:00 με 12:00.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

3.1 Προσπίπτουσα και ανακλώμενη ΦΕΑ και UV στην κόμη και στο φύλλο

Την περίοδο που πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις ακτινοβολίας η ποσότητα των κόνεων στη φυλλική επιφάνεια ήταν 242 μg cm^{-2} για τον καολίνη, 2045 μg cm^{-2} για το τσιμέντο και 1944 μg cm^{-2} για το έδαφος.

Η προσπίπτουσα ΦΕΑ στα δέντρα ροδακινιάς που εφαρμόστηκε καολίνης (Πίνακας 1), ήταν ελαφρώς μικρότερη από αυτή του μάρτυρα, καθώς η ανακλώμενη ΦΕΑ από τα δέντρα που ψεκάστηκαν με καολίνη ήταν πολύ υψηλότερη (διπλάσια) αυτής των δέντρων του μάρτυρα. Όταν τα δέντρα ροδακινιάς δέχτηκαν κόνεις τσιμέντου ή εδάφους (Πίνακας 1), η προσπίπτουσα ΦΕΑ ήταν παρόμοια με αυτή των δέντρων του μάρτυρα. Επιπλέον, τα δέντρα που δέχθηκαν κόνεις τσιμέντου ή εδάφους είχαν υψηλότερη ανακλώμενη ΦΕΑ (περίπου κατά 40%) από τα δέντρα του μάρτυρα.

Παρόμοια αποτελέσματα για την ανακλώμενη ΦΕΑ βρέθηκαν και σε επίπεδο φύλλου όπου τα ρυπασμένα φύλλα είχαν υψηλότερη ανακλώμενη ΦΕΑ από τα φύλλα του μάρτυρα και ιδιαίτερα τα φύλλα που ήταν καλυμμένα με καολίνη (Πίνακας 1).

Πίνακας 1. Μέση προσπίπτουσα και ανακλώμενη ΦΕΑ και UV ακτινοβολία στην κόμη και στο φύλλο δέντρων του μάρτυρα και δέντρων που εφαρμόστηκαν καολίνης και κόνεις τσιμέντου και εδάφους

	Μάρτυρας	Καολίνης	Τσιμέντο	Έδαφος
Φωτοσυνθετικά ενεργός ακτινοβολία (ΦΕΑ) (μmol m^{-2} s^{-1})				
Προσπίπτουσα στην κόμη	1632±64	1541±55	1657±69	1637±71
Ανακλώμενη από την κόμη	67±8,3	136±27,9	96±9,1	86±8
Ανακλώμενη από το φύλλο	143±5,5	297±27,2	178±15,2	156±8,4
Υπεριώδης ακτινοβολία (UV) (μmol m^{-2} s^{-1})				
Προσπίπτουσα στην κόμη	111±4,2	101±9,3	103±8,2	102±9,6
Ανακλώμενη από την κόμη	2,0±0,8	6,6±1,4	4,2±0,4	3,1±0,9
Ανακλώμενη από το φύλλο	10,5±0,6	19,2±1,5	12,0±2,1	10,4±1,5

Η προσπίπτουσα UV ακτινοβολία (Πίνακας 1), που ήταν ιδιαίτερα υψηλή, μειώθηκε ελαφρά σε όλα τα καλυμμένα με κόνεις δέντρα αλλά σημαντικά μόνο στην περίπτωση του καολίνη. Η ανακλώμενη από τα δέντρα UV ήταν ελάχιστη στον μάρτυρα και αυξήθηκε από την ύπαρξη των κόνεων στην επιφάνεια του δέντρου και ιδιαίτερα του καολίνη στα φύλλα, όπου η ανακλώμενη UV έφτασε το 1/5 της προσπίπτουσας.

3.2 Διαθέσιμη ΦΕΑ και UV στη φυτική επιφάνεια

Οι επαναληπτικές εφαρμογές καολίνη αύξησαν την ποσότητα των υπολειμμάτων καολίνη ανά μονάδα επιφάνειας από 46 έως 1204 μg cm^{-2}, τα οποία οδήγησαν σε μείωση της διαθέσιμης ΦΕΑ από 5% έως 43% σε σχέση με τον μάρτυρα με τελική διαθέσιμη ΦΕΑ στη φυτική επιφάνεια 1371 και 778 μmol m^{-2} s^{-1} και μείωση της UV από 17% έως 86% σε σχέση με τον μάρτυρα με τελική διαθέσιμη UV στη φυτική επιφάνεια 85 και 15 μmol m^{-2} s^{-1}, αντίστοιχα.

Κατά την επαναληπτική εφαρμογή κόνεως τσιμέντου η ποσότητα της κόνεως ανά μονάδα επιφάνειας κυμάνθηκε από 89 έως 1692 μg cm^{-2} και μείωσε τη ΦΕΑ από 5% έως 39% σε σχέση με τον μάρτυρα με τελική διαθέσιμη ΦΕΑ στη φυτική επιφάνεια 1362 και 870 μmol m^{-2} s^{-1} και μείωσε τη UV από 7% έως 45% σε σχέση με τον μάρτυρα με τελική διαθέσιμη UV στη φυτική επιφάνεια 96 και 57 μmol m^{-2} s^{-1} αντίστοιχα.

Η επαναληπτική εφαρμογή κόνεως εδάφους αύξησε την ποσότητα κόνεως ανά μονάδα επιφάνειας από 61 έως 1724 μg cm^{-2} και κατά συνέπεια μειώθηκε η ΦΕΑ από 1% έως 31% σε σχέση με τον μάρτυρα με τελική διαθέσιμη ΦΕΑ στη φυτική επιφάνεια 1369 και 991 μmol m^{-2} s^{-1} και η UV από 6% έως 45% συγκριτικά με τον μάρτυρα με τελική διαθέσιμη UV στη φυτική επιφάνεια 96 και 54 μmol m^{-2} s^{-1} αντίστοιχα.

3.3 Θερμοκρασία φύλλου

Τον Ιούλιο 2010 η μέση θερμοκρασία φύλλου το εικοσιτετράωρο (Πίνακας 2) δεν επηρεάστηκε από την ύπαρξη του καολίνη και ήταν παρόμοια με αυτή του μάρτυρα (φύλλα χωρίς κόνιν) και του αέρα. Αλλά η μέγιστη ημερήσια θερμοκρασία φύλλου μειώθηκε από την παρουσία του καολίνη (κατά 3,6 °C) σε σχέση με τον μάρτυρα, ενώ η ελάχιστη δεν επηρεάστηκε (τα αποτελέσματα δεν φαίνονται). Όταν μελετήθηκαν χωριστά οι ώρες φωτός (08:00-20:00), βρέθηκε ότι στον μάρτυρα η θερμοκρασία φύλλου ήταν ελαφρώς πιο υψηλή από τη θερμοκρασία του αέρα, ενώ στον καολίνη η θερμοκρασία φύλλου ήταν χαμηλότερη από αυτή του μάρτυρα και παρόμοια ή χαμηλότερη του αέρα.

Πίνακας 2. Μέση 24ωρη και τις ώρες 8:00-20:00 και 20:00-8:00 θερμοκρασία φύλλου, σε δέντρα του μάρτυρα και σε δέντρα που δέχτηκαν καολίνη

	Μάρτυρας	Καολίνης	Εξωτερ.
Ιούλιος 2010			
Μέση θερμ.φύλλου (°C) ανά 24ωρο	29,3±1,4	28,3±1,4	29,7±1,6
Μέση θερμ. φύλλου (°C) από 8:00-20:00	34,5±1,5	32,6±1,3	33,4±1,5
Μέση θερμ. φύλλου (°C) από 20:00-8:00	22,9±1,5	22,8±1,5	24,7±1,6
Σεπτέμβριος 2011			
Μέση θερμ.φύλλου (°C) ανά 24ωρο	24,2±2,8	22,6±2,1	25,3±3,3
Μέση θερμ. φύλλου (°C) από 8:00-20:00	30,1±0,9	27,0±1,1	29,8±2,1
Μέση θερμ. φύλλου (°C) από 20:00-8:00	18,3±1,4	18,5±1,4	20,3±1,2

Τον Σεπτέμβριο 2011 και πάλι η μέση θερμοκρασία φύλλου το εικοσιτετράωρο (Πίνακας 2) δεν επηρεάστηκε σημαντικά από την ύπαρξη του καολίνη σε σχέση με τον μάρτυρα και τον αέρα. Όπως και το 2010, η μέγιστη ημερήσια θερμοκρασία φύλλου μειώθηκε από την παρουσία του καολίνη (κατά 4,5 °C) σε σχέση με τον μάρτυρα, ενώ η ελάχιστη δεν επηρεάστηκε (τα αποτελέσματα δεν φαίνονται). Κατά τις ώρες φωτός τον Σεπτέμβριο 2011, τα φύλλα του μάρτυρα είχαν παρόμοια θερμοκρασία (Πίνακας 2) με αυτή του αέρα, ενώ τα

φύλλα με καολίνη είχαν σημαντικά χαμηλότερη θερμοκρασία από τα φύλλα του μάρτυρα και του αέρα. Τέλος, τις νυκτερινές ώρες (20:00-08:00) η θερμοκρασία στα φύλλα του καολίνη ήταν παρόμοια με τα φύλλα του μάρτυρα και χαμηλότερη αυτής του αέρα και τις δύο χρονιές.

Η παρουσία των κόνεων τσιμέντου ή εδάφους στα φύλλα, δεν τροποποίησε τη μέση θερμοκρασία φύλλου το εικοσιτετράωρο τον Ιούλιο 2010 σε σχέση με τα φύλλα του μάρτυρα και με τη θερμοκρασία αέρα (Πίνακας 3). Κατά τις ώρες φωτός (08:00-20:00) και πάλι οι δύο ανωτέρω κόνεις δεν τροποποίησαν τη θερμοκρασία φύλλου είτε σε σχέση με τη θερμοκρασία φύλλου του μάρτυρα, είτε με τη θερμοκρασία του αέρα. Αντίθετα, τα φύλλα των τριών μεταχειρίσεων είχαν χαμηλότερη θερμοκρασία από τον αέρα κατά τις νυκτερινές ώρες (20:00-08:00) κατά 1,2-1,6 °C.

Πίνακας 3. Μέση 24ωρη και τις ώρες 8:00-20:00 και 20:00-8:00 θερμοκρασία φύλλου σε δέντρα του μάρτυρα και σε δέντρα που εφαρμόστηκαν κόνεις τσιμέντου και εδάφους

	Μάρτυρας	Τσιμέντο	Έδαφος	Εξωτερ.
Ιούλιος 2010				
Μέση 24ωρη θερμ.φύλ. (°C)	29,1±1,9	29,0±2,0	28,8±1,7	29,6±1,9
Μέση θερμ. φύλ. (°C) από 8:00-20:00	33,8±1,6	33,7±1,6	33,3±1,3	33,1±1,5
Μέση θερμ. φύλ. (°C) από 20:00-8:00	23,3±1,3	23,3±1,3	23,7±1,2	24,9±1,3
Σεπτέμβριος 2011				
Μέση 24ωρη θερμ.φύλ. (°C)	23,16±1,4	23,4±1,3	23,4±1,3	25,8±1,1
Μέση θερμ. φύλ. (°C) από 8:00-20:00	27,2±2,3	28,4±2,3	28,4±2,3	31,3±2,0
Μέση θερμ. φύλ. (°C) από 20:00-8:00	19,0±1,7	18,5±1,7	18,5±1,7	20,4±1,3

Τον Σεπτέμβριο 2011 η μέση θερμοκρασία των φύλλων το εικοσιτετράωρο με κόνιν τσιμέντου ή εδάφους (Πίνακας 3) ήταν παρόμοια μεταξύ τους και με αυτή του μάρτυρα. Η μέση θερμοκρασία φύλλου το εικοσιτετράωρο και των τριών μεταχειρίσεων ήταν σημαντικά χαμηλότερη (κατά 2,4 °C) από αυτή του αέρα προφανώς λόγω της διαπνοής. Κατά τις ώρες φωτός, η μέση θερμοκρασία φύλλου παρουσία των κόνεων τσιμέντου ή εδάφους ήταν παρόμοια μεταξύ τους και με τα φύλλα του μάρτυρα και σημαντικά χαμηλότερη (κατά 2,9 έως 4,1 °C) από τη θερμοκρασία του αέρα. Τέλος, η μέση θερμοκρασία φύλλου κατά τις νυκτερινές ώρες, ήταν επίσης ελαφρά χαμηλότερη στα φύλλα όλων των μεταχειρίσεων (χωρίς διαφορές μεταξύ τους) σε σχέση με τη θερμοκρασία του αέρα.

3.4 Θερμοκρασία καρπού

Η μέση εικοσιτετράωρη θερμοκρασία καρπού στην ωρίμανση (αρχές Ιουλίου 2011) οριακά μόνο μειώθηκε παρουσία καολίνη και δεν επηρεάστηκε από την ύπαρξη των κόνεων τσιμέντου και εδάφους (Πίνακας 4) σε σχέση με τους καρπούς του μάρτυρα, ενώ δεν τροποποιήθηκε σε σχέση με τη θερμοκρασία του αέρα. Όταν μελετήθηκαν χωριστά οι ώρες φωτός, η παρουσία καολίνη στους καρπούς, μείωσε σημαντικά τη θερμοκρασία τους (κατά 3,3 °C) σε σχέση με τους καρπούς του μάρτυρα. Επιπλέον η παρουσία καολίνη διατήρησε τη θερμοκρασία καρπού κοντά σε αυτή της θερμοκρασίας του αέρα, ενώ η θερμοκρασία των καρπών του μάρτυρα αυξήθηκε κατά 4,8 °C σε σχέση με τη θερμοκρασία του αέρα, λόγω της υψηλής ηλιακής ακτινοβολίας και της υψηλής ποσότητας νερού του καρπού (>80%) (Πίνακας 4).

Πίνακας 4. Μέση 24ωρη και τις ώρες 8:00-20:00 και 20:00-8:00 θερμοκρασία καρπού σε δέντρα του μάρτυρα και σε δέντρα που δέχτηκαν καολίνη και κόνεις τσιμέντου και εδάφους

	Μάρτυρας	Καολίνης	Εξωτερ.
Μέση 24ωρη θερμ. καρπού (°C)	31,6±2,0	29,6±0,9	29,1±2,3
Μέση θερμ. καρπού (°C) από 8:00-20:00	37,4±0,5	34,1±1,8	32,6±0,8
Μέση θερμ. καρπού (°C) από 20:00-8:00	20,9	21,1	22,1
	Μάρτυρας	Τσιμέντο	Εξωτερ.
Μέση 24ωρη θερμ. καρπού (°C)	27,9±2,8	28,9±2,3	30,5±2,4
Μέση θερμ. καρπού (°C) από 8:00-20:00	34,7±1,0	35,8±0,3	36,3±0,7
Μέση θερμ. καρπού (°C) από 20:00-8:00	20,2±1,1	19,8±1,1	22,6±0,9
	Μάρτυρας	Έδαφος	Εξωτερ.
Μέση 24ωρη θερμ. καρπού (°C)	29,9±2,7	29,7±3,0	29,7±2,7
Μέση θερμ. καρπού (°C) από 8:00-20:00	36,1±0,3	36,1±0,4	35,2±0,4
Μέση θερμ. καρπού (°C) από 20:00-8:00	20,7±0,2	19,8±0,8	21,2±0,5

Επίσης, κατά τις ώρες φωτός οι καρποί με ρύπανση τσιμέντου (Πίνακας 4) είχαν ελαφρώς αυξημένη θερμοκρασία σε σχέση με τους καρπούς του μάρτυρα, ενώ τόσο οι καρποί του μάρτυρα όσο και οι καλυμμένοι με κόνιν τσιμέντου είχαν ελαφρώς πιο χαμηλή θερμοκρασία από αυτή του αέρα. Τέλος, τις ώρες φωτός οι καρποί με ρύπανση κόνεως εδάφους είχαν παρόμοια θερμοκρασία με τους καρπούς του μάρτυρα και οι καρποί των δύο μεταχειρίσεων είχαν ελαφρά υψηλότερη θερμοκρασία καρπού από αυτή του αέρα. Μείωση της θερμοκρασίας καρπού (κατά 1 έως 2,8 °C) βρέθηκε σε όλες τις μεταχειρίσεις σε σχέση με τη θερμοκρασία αέρα, κατά τις νυκτερινές ώρες.

4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Η κάλυψη των δέντρων ροδακινιάς με καολίνη μείωσε την προσπίπτουσα και αύξησε την ανακλώμενη ΦΕΑ και UV ακτινοβολία στην κόμη και στο φύλλο συγκριτικά με τον μάρτυρα. Επιπλέον οι επαναληπτικές εφαρμογές καολίνη μείωσαν σημαντικά τη διαθέσιμη ΦΕΑ και UV ακτινοβολία στις φυτικές επιφάνειες. Η παρουσία καολίνη στα δέντρα μείωσε τη θερμοκρασία φύλλου και καρπού σε σχέση με τον μάρτυρα και τον αέρα, κυρίως τις ώρες της ημέρας που επικρατούν οι υψηλότερες θερμοκρασίες. Ομοίως σε δέντρα πεκάν η εφαρμογή καολίνη μείωσε τη θερμοκρασία του φύλλου κυρίως τις θερμότερες ώρες της ημέρας, ενώ αύξησε το διαθέσιμο φως στο εσωτερικό της κόμης των

δέντρων, εξαιτίας της αυξημένης ανάκλασης της ακτινοβολίας παρουσία καολίνη (Lombardini et al., 2005). Οι Glenn et al. (2003) υποστηρίζουν ότι η μείωση της θερμοκρασίας που επιτυγχάνεται στην κόμη και στους καρπούς με την εφαρμογή καολίνη, είναι ο βασικός μηχανισμός για τη μείωση της θερμικής καταπόνησης. Η μείωση της θερμικής καταπόνησης στα δέντρα με καολίνη, μείωσε το έλλειμμα κορεσμού στα φύλλα και αύξησε τη στοματική αγωγιμότητα των φύλλων σε δέντρα μηλιάς, με αποτέλεσμα την αύξηση της αφομοίωσης CO_2 σε σχέση με τα δέντρα του μάρτυρα. Επιπλέον, η εφαρμογή καολίνη προτείνεται κυρίως σε ξηροθερμικά περιβάλλοντα με υψηλά επίπεδα ΦΕΑ, διαφορετικά υπάρχει κίνδυνος μείωσης του ρυθμού φωτοσύνθεσης λόγω σκίασης (Glenn et al., 2003). Τέλος, η μείωση της θερμοκρασίας σε καρπούς μήλων και η αυξημένη ανάκλαση της UV ακτινοβολίας παρουσία καολίνη, βρέθηκε να μειώνει σημαντικά την υποβάθμιση της ποιότητας των καρπών λόγω ηλιακού εγκαύματος (Glenn et al., 2002).

Η εφαρμογή κόνεων τσιμέντου και εδάφους δεν τροποποίησε την προσπίπτουσα ΦΕΑ και UV ακτινοβολία στην κόμη των δέντρων σε σχέση με το μάρτυρα, ενώ αύξησε την ανακλώμενη ΦΕΑ και UV στην κόμη και στο φύλλο. Επιπλέον οι επαναληπτικές εφαρμογές κόνεων τσιμέντου και εδάφους μείωσαν σημαντικά τη διαθέσιμη ΦΕΑ και UV ακτινοβολία στη φυτική επιφάνεια. Η συσσώρευση των κόνεων τσιμέντου και εδάφους στα φύλλα και στους καρπούς δεν μετέβαλε τη θερμοκρασία τους σε σχέση με τον μάρτυρα, παρά μόνο στην περίπτωση των καλυμμένων καρπών με κόνιν τσιμέντου που αυξήθηκε ελαφρώς η θερμοκρασία τους συγκριτικά με τον μάρτυρα, τις ώρες φωτός. Οι Hirano et al. (1995) εφάρμοσαν αδρανείς κόνεις στα φύλλα αγγουριού και φασολιού και διαπίστωσαν αυξημένη απορρόφηση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας από κάποιες κόνεις, η οποία αύξησε τη θερμοκρασία του φύλλου. Βρέθηκε ότι, όσο πιο σκουρόχρωμη ήταν η κόνις, τόσο υψηλότερη ήταν η θερμοκρασία του φύλλου και όσο περισσότερη η ποσότητα της κόνεως, τόσο υψηλότερη η θερμοκρασία. Επίσης, όσο πιο ανοιχτόχρωμη ήταν η κόνις, τόσο μικρότερη ήταν η διαφορά θερμοκρασίας από το μάρτυρα (<1 °C) (Hirano et al., 1995). Επιπλέον η παρουσία κόνεως τσιμέντου σε φυτά καλαμποκιού μείωσε το δείκτη ανακλαστικότητας κατά 10% σε σχέση με τον μάρτυρα και το ποσοστό αυτό της ακτινοβολίας που παρέμενε, αύξησε τη θερμοκρασία στη φυτική επιφάνεια κατά 1,5-2,5 °C (Anda, 1986).

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η εφαρμογή καολίνη σε δέντρα ροδακινιάς βρέθηκε να μειώνει σημαντικά τη διαθέσιμη ΦΕΑ και UV ακτινοβολία στα φύλλα, αλλά η αυξημένη ανάκλαση της ΦΕΑ και της UV φαίνεται να αναδιανέμει το φως στο εσωτερικό της κόμης των δέντρων με όφελος στο φωτισμό των σκιαζόμενων φύλλων. Επιπλέον η μείωση της θερμοκρασίας παρουσία καολίνη στα δέντρα ειδικά τις θερμότερες ώρες της ημέρας, φαίνεται να μειώνει τη θερμική καταπόνηση των δέντρων γεγονός που μπορεί να αυξήσει την αφομοίωση του CO_2 από τα φύλλα και να μειώσει τις απώλειες στην εμπορεύσιμη παραγωγή λόγω της εμφάνισης του ηλιακού εγκαύματος. Άλλωστε στις ιδιότητες του καολίνη αναφέρεται η προστατευτική του δράση προς τα φύλλα ώστε αυτά να λειτουργούν φυσιολογικά (Glenn and Puterka, 2005).

Η παρουσία των κόνεων τσιμέντου και εδάφους ομοίως μείωσε τη διαθέσιμη ΦΕΑ και UV ακτινοβολία στα φύλλα, χωρίς όμως να τη μειώνει κάτω από το επίπεδο κορεσμού για τη φωτοσύνθεση και εν μέρει αύξησε την ανακλώμενη ΦΕΑ και UV ακτινοβολία. Η εφαρμογή των ρυπαντών κόνεων τσιμέντου και εδάφους δεν τροποποίησε τη θερμοκρασία φύλλου και καρπού σε σχέση με το μάρτυρα και συνεπώς δεν επιβάρυναν αλλά ούτε και μείωσαν τη θερμική καταπόνηση των φυτικών οργάνων. Σημαντική είναι η σκίαση που προκαλεί η συσσώρευση των κόνεων τσιμέντου και εδάφους στη φυτική επιφάνεια και σε συνδυασμό με την παχιά κρούστα που δημιουργούν στις φυτικές επιφάνειες μπορεί να έχουν αρνητικές επιπτώσεις στις φυσιολογικές λειτουργίες των δέντρων ροδακινιάς.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Anda, A., 1986. Effect of cement kiln dust on the radiation balance and yields of plants. Environ. Pollut., (Series A) 40:249-256

Farmer, A.M., 1993. The effects of dust on vegetation - a review. Environ. Pollut., 79:63-75

Glenn, M.D., Prado, E., Erez, A., McFerson, J., Puterka, G.J., 2002. A reflective, processed-kaolin particle film affects fruit temperature, radiation reflection, and solar injury in apple. J. Amer. Soc. Hort. Sci., 127:188-193

Glenn, M.D., Erez, A., Puterka, G.J., Gundrum, P., 2003. Particle films affect carbon assimilation and yield in Empire apple. J. Amer. Soc. Hort. Sci., 128(3):356-362

Glenn, M.D., Puterka, G.J., 2005. Particle films: a new technology for agriculture. Hortic. Rev., 31:1-44

Grantz, D.A., Garner, J.H.B., Johnson, D.W., 2003. Ecological effects of particulate matter. Environ. Intl., 29:213-239

Hirano, T., Kiyota, M., Aiga, I., 1995. Physical effects of dust on leaf physiology of cucumber and kidney bean plants. Environ. Pollut., 89:255-261

Karagounis, C., Kourdoumbalos, A.K., Margaritopoulos, J.T., Nanos, G.D., Tsitsipis, J.A., 2006. Organic farming-compatible insecticides against the aphid *Myzus persicae* in peach orchards. J. Appl. Entomol., 130(3):150-154

Lombardini, L., Harris, M.K., Glenn, M.D., 2005. Effects of particle film application on leaf gas exchange, water relations, nut yield, and insect populations in mature pecan trees. HortScience, 40(5):1376-1380

Mandre, M., Klõšeiko, J., Ots, K., Tuulmets, L., 1999. Changes in phytomass and nutrient partitioning in young conifers in extreme alkaline growth conditions. Environ. Pollut., 105: 209-220

Nanos, G.D., Ilias, I.F., 2007. Effects of inert dust on olive (*Olea europaea* L.) leaf physiological parameters. Environ. Sci. Pollut. Res., 14:212-214

WHO/SDE/OEH/99.14. Hazard Prevention and Control in the Work Environment: Airborne Dust

ΑΠΟΔΟΜΗΣΗ ΠΛΑΣΤΙΚΩΝ ΦΥΛΛΩΝ ΕΔΑΦΟΚΑΛΥΨΗΣ ΠΟΛΥΑΙΘΥΛΕΝΙΟΥ ΜΕ ΠΡΟ-ΟΧΕΙΔΩΤΙΚΑ - ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΔΙΑΣΠΑΣΗΣ ΣΤΟ ΧΩΜΑ

Δημήτρης Μπριασούλης[1], Μιλτιάδης Χισκάκης[1], Ιωάννα Κυρίκου[1], Επιφανεία Μπάμπου[1]
[1]Τμήμα Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Ιερά Οδός 75, Αθήνα, Ελλάδα, e-mail: briassou@aua.gr

Εκτός από τα συμβατικά φύλλα πολυαιθυλενίου και τα βιοδιασπώμενα σε χώμα και κομπόστ αγροτικά πλαστικά, ήδη χρησιμοποιούνται στη γεωργία φύλλα πολυαιθυλενίου ελεγχόμενης διάσπασης στο χώμα. Τα ειδικά προ-οξειδωτικά που χρησιμοποιούνται σαν πρόσθετα επιταχύνουν την αβιοτική οξείδωση και ακόλουθη διάρρηξη των αλυσίδων του πολυμερούς υπό συνθήκες υπεριώδους ακτινοβολίας ή θερμικής καταπόνησης. Ο ρόλος των προ-οξειδωτικών στην πιθανή βιοδιάσπαση του πολυαιθυλενίου υπό συγκεκριμένες εργαστηριακές συνθήκες έχει υποστηριχθεί από κάποιους ερευνητές. Παρόλα αυτά σε αληθινές συνθήκες εδάφους τα αποτελέσματα είναι αμφισβητούμενα. Φύλλα εδαφοκάλυψης από πολυαιθυλένιο χαμηλής πυκνότητας (LLDPE) με προ-οξειδωτικά μετά τη χρήση τους για μια καλλιεργητική περίοδο σε πειραματικό αγρό θάφτηκαν κάτω από πραγματικές συνθήκες. Παράλληλα, φύλλα LLDPE με προ-οξειδωτικά που υπέστησαν στο εργαστήριο τεχνητή γήρανση με υπεριώδη ακτινοβολία ή με θερμότητα, εκτέθηκαν σε συνθήκες ταφής στον ίδιο αγρό με σκοπό να εξετασθεί ο βαθμός επίδρασης στην αποδόμηση του υλικού της UV ακτινοβολίας, της υψηλής θερμοκρασίας και των συνθηκών ταφής στο έδαφος,. Στην εργασία αυτή παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της υποβάθμισης των μηχανικών ιδιοτήτων καθώς και οι χημικές και φυσικές αλλοιώσεις που υπέστησαν τα υλικά αυτά εντός του εδάφους για μία περίοδο 7 ετών.

Λέξεις κλειδιά: Φύλλα εδαφοκάλυψης, Πολυαιθυλένιο με προ-οξειδωτικά, Επιταχυνόμενη γήρανση, Διάσπαση πλαστικού στο έδαφος

DEGRADATION OF POLYETHYLENE MULCHING FILMS WITH PROOXIDANTS - ANALYSIS OF THE DEGRADATION BEHAVIOUR IN SOIL

Demetres Briassoulis[1], Miltiadis Hiskakis[1], Ioanna Kyrikou[1], Epifaneia Babou[1]
[1]Department of Natural Resources Management and Agricultural Engineering, Agricultural University of Athens, 75 Iera Odos, Athens GR-11855, Greece, e-mail: briassou@aua.gr

Apart from the conventional mulching films and the biodegradable in soil and compost agricultural plastics, polyethylene mulching films of controlled degradation in soil are already used in agriculture. The use of special prooxidants as additives, accelerates the abiotic oxidation and the subsequent chain scission of the polymer under specific UV-radiation or thermal degradation conditions, as highlighted in literature. The role of prooxidants in the possible biodegradation of polyethylene has been theoretically supported by some researchers using controlled lab conditions. However, in real soil conditions, the results are not supporting these claims and the issue remains disputed. Mulching films made from linear low density polyethylene (LLDPE) with prooxidants after been used for one cultivation period in an experimental field were buried under real field conditions. In parallel, LLDPE films with prooxidants that were exposed in accelerated ageing conditions or in thermal degradation were exposed in soil burial conditions with the aim of investigating the effect of the UV radiation, the high temperature and the burial conditions in the degradation of the plastic material. This work presents the results of the mechanical properties degradation and the chemical and physical changes of the plastic films buried for a period of 7 years.

Keywords: Mulching films; Polyethylene with pro-oxidants; UV artificial ageing; Degradation of plastics in soil

1. INTRODUCTION

The growth of uncontrolled disposal of plastic waste in the environment is a matter of great concern leading to long-term environmental, health, economic and waste administration problems. Degradation of plastic waste through various environmental friendly methods (e.g. biodegradation, compost) becomes an alternative to solve such problems.

Another kind of material developed the last decades and introduced in the market, including the application of mulching films, is the so called oxo-degradable plastics. In the case of mulching films, polyethylene (PE) is adapted by additivating it with pro-oxidants that control PE degradation. Oxo-degradable mulching films have already been introduced and used in agricultural applications (Bonora and Decorte, 2003, Scott and Gilead, 1995). The addition of specialised pro-oxidants in polyethylene films formation, accelerates the breakdown of polyethylene to very small fragments (fragmentable materials) but biodegradability of such materials is strongly disputed (Feuilloley, 2004, Fritz, 2003, Thompson et al., 2004).

LLDPE mulching films with prooxidants were used in watermelon cultivation in the experimental field of AUA (Kyrikou et al., 2011). These films, following the end of the cultivation period, were buried under real field conditions to investigate their long term degradation behavior in the soil. In a parallel experiment samples of the same polyethylene films with pro-oxidants, pre-treated by exposure to accelerated UV radiation and high temperature and not pre-treated, were buried in the soil of the same experimental field. The degradation behaviour of the

mulching films and pre-treated samples in soil for a period of 7 years is presented.

2. MATERIALS & METHODS

2.1. Degradation under real cultivation conditions

The effect of natural degradation of the LLDPE-P1 film on its subsequent degradation in soil behaviour was investigated immediately after the end of the cultivation season that lasted 6 months. The degraded LLDPE-P1 mulching films along with the plant remains were incorporated in the soil in an area of 1 m^2 of the field. These films are labelled *"LLDPE-P1-mulch".* The rest of the remains of the degraded LLDPE-P1 mulching films were collected and buried altogether in another separate designated area of 1 m^2 in the field. These films are denoted *"LLDPE-P1-massive.* Following a 6 & 7-year period under natural soil burial conditions, samples of these films were removed to evaluate the long-term degradation.

2.2. Artificial degradation

Two sets of samples of the film LLDPE-P1 were artificially aged in order to investigate in a controlled way the effect of intensive artificial UV radiation and temperature induced degradation on the behavior of the film when exposed to real soil environment in the same field. A first set of samples was exposed to an artificial accelerated ageing apparatus with the following characteristics: intensive UV radiation at wavelength range 300-400 nm using a combination of UV-A and UV-B types of lamps providing respectively a strong radiation at wavelengths of 340 nm and 310 nm where polyethylene is sensitive (BASF the chemical company). The system consisted of 10 bulbs Philips TL 40W/12RS Medical UVB and 12 Philips Cleo Performance 40W broadband UVA placed in a 1 m^2 area in a staggering pattern. Irradiation at the level of the samples was measured at 45 W/m^2.

Chamber Temperature: 50°C; No humidity. The total exposure period was 1.1 months. This set of samples is denoted as **"***UV degradation*"**.** A second set of samples was exposed to artificial thermal ageing (oven temperature: 50°C). The exposure period was 1.1 months. This set of samples is denoted as *"Thermal degradation".*

In total, 12 film samples, approx. 2 g each, embedded in a 3 kg mass of sieved (2 mm) soil taken from the experimental field, were placed inside 12 pouches made of PP net (dimensions of rectangular voids of the net: 0.35 mm×1 mm). The pouches with the soil and the samples inside were buried in the experimental field. This experiment consisted of 4 recalls (series of different exposure time) with 3 different samples/recall: untreated PE mulching film *(LLDPE-P1 untreated sample),* pre-treated LLDPE-P1 film in an oven at 50°C for 800 h *(LLDPE-P1 oven-treated sample*) and artificially aged LLDPE-P1 film exposed for 800 h (~5 weeks) to accelerated UV radiation *(LLDPE-P1 UV-treated sample*).

2.3. Methods of analysis and testing

The samples recovered from the soil burial at predefined intervals were analyzed for changes in mechanical and chemical properties by a series of mechanical tests, Differential Scanning Calorimetry (DSC) and FTIR-Spectrometry. The mechanical (tensile) properties of non fragmented samples were measured using an INSTRON testing machine Model 4204 following the standard EN ISO 527-3 (or ASTM D882). The thermal properties of all the tested samples were analyzed by a Perkin Elmer Pyris 6 DSC calibrated with Indium. Thermograms of 15±5 mg samples of the plastic were recorded using three cycles: (a) equilibrating at - 5˚C, (b) heating from -5 to 200˚C at 10 ˚C/min (c) cooling from 200 to -5˚C at 10 ˚C/min. Mid infrared spectra (mid IR region, between 4000 cm^{-1} and 400 cm^{-1}) were measured at NHRF, on an FTIR spectrometer - Equinox 55 by Bruker Optics - by single reflection diamond ATR spectroscopy. All spectra have been measured with a resolution of 2 cm^{-1}, and a zero filling interpolation factor of 2. The mid IR spectra were referenced against air. The frequency range was 525 cm^{-1} - 5000 cm^{-1}. Mid infrared spectra was run at AUA on an FTIR spectrometer Tensor 27 by Bruker Optics by single reflection diamond ATR spectroscopy.

2.3. Recovery of sample fragments

The recovered "LLDPE-P1 untreated" and the majority of the "LLDPE-P1 oven treated" series of samples (19, 69, 82 months of exposure in soil burial conditions) were easily separated from the soil as the films were found almost intact. Half of the "LLDPE-P1 oven-treated" sample of 31 months of exposure, as well as the recovered "LLDPE-P1 UV treated" samples of all series were found fragmented into small pieces. In these cases, a special separation procedure was introduced for collecting the small fragments from the soil as follows:

A solution of glycerol-water 90 g glucose in 10 g water by weight (90/10) (1st recall), or with the ratio 16/500 (glucose/water) (2nd, 3rd and 4th recalls) was added to the mixture (soil-plastic). The mixture was stirred for about 5 min. The visible floating fragments were collected. Then, the supernatant (liquid phase above soil) was filtered in a 'gooch' crucible (porosity 2) to be filtered. This procedure was repeated until no visible plastic (black) fragments were left. After the separation, the larger fragments were washed with diluted water carefully in order to remove the soil adhered on them. Subsequently, the fragments were placed on a petri-dish and dried in the oven at 104˚C for 2 h. After cooling at ambient temperature all collected plastic fragments from the specific sample were consolidated and weighed.

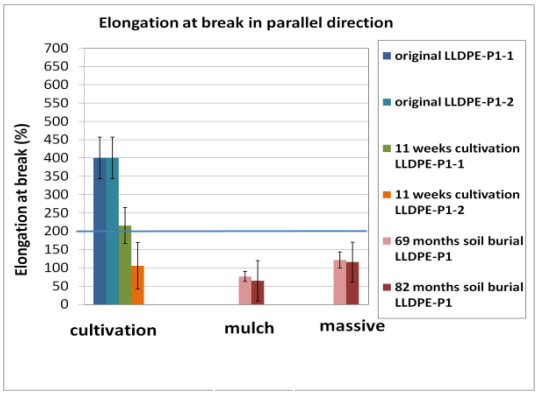
In the case of the LLDPE-P1 UV-treated sample after 82 months in the field, no plastic fragments could be distinguished inside the pouch through visible observation or the separation procedure described above. Characteristic smaller plastics were finally collected by means of electrostatic pincers. Such tiny pieces were found in dimensions of less than 500 μm, very difficult to be traced and even more difficult to be

collected. Even smaller fragments could be identified only by means of a microscope.

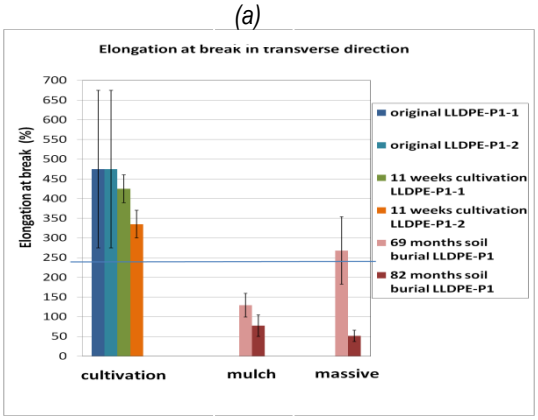
3. RESULTS & DISCUSSION

3.1 Evolution of critical mechanical properties

Figure 1 shows the evolution of the elongation at break of the LLDPE-P1 film (two layers used: upper and lower layers: 1, 2) before and after the cultivation period (Kyrikou I. et al., 2011) and after the soil burial of the degraded films for 69 & 82 months in the field. The elongation at break ε_{br} in the parallel direction after the end of the cultivation period exhibited a deduction of 46,2% and 73,75% in the cases of LLDPE-P1-1 and LLDPE-P1-2 films, respectively. The reduction of ε_{br} was measured at 81% and 69,7% for the LLDPE-P1-mulch and LLDPE-P1-massive samples, respectively, buried for 69 months that was further decreased to 83,9% and 71,1% after 82 months in the soil. In the transverse direction, ε_{br} presented a high decrease of 72,8% and 83,7% in the case of the LLDPE-P1-mulch film buried for 69 months and 82 months correspondingly. The LLDPE-P1-massive collected films showed a decrease of 89,2% after 82 months.



(a)

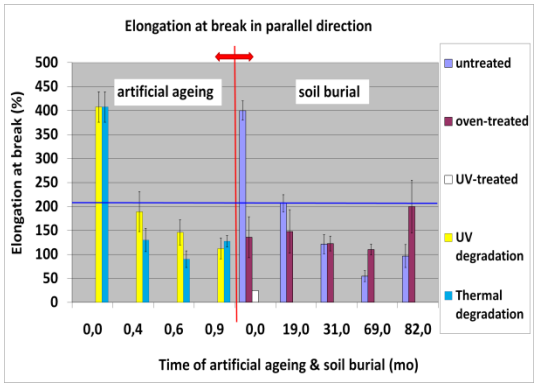


(b)

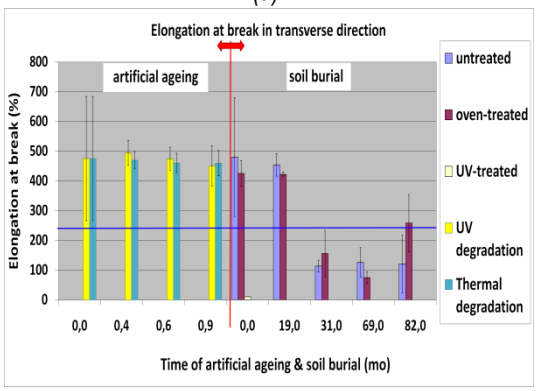
Figure 1 Elongation at break (%) of LLDPE-P1-1 and LLDPE-P1-2 mulching films before and after the cultivation period and of the "LLDPE-P1-mulch" and "LLDPE-P1-massive" samples after soil barial for 69 & 82 months; (a) parallel; (b) transverse direction

Figure 2 depicts the evolution of the elongation at break of the LLDPE-P1 samples during the artificial UV and oven ageing pre-treatment phases (Kyrikou I. et al., 2011), as well as during the long term soil-burial phase. The samples exposed to accelerated UV ageing were fragmented when recovered from soil and no mechanical tests could be performed.

The elongation at break in the parallel direction, showed a reduction of 72,41% and 68,75% after 0,9 months of exposure in the UV and oven-ageing process correspondingly. During the soil burial exposure maximum losses of 75.86% were recorded for ε_{br} after 82 months for the case of the untreated films. For the case of the oven treated series, no further significant changes were noted. In the transverse direction, ε_{br} exhibited a decline of 74.87% for the untreated series after 82 months and a decrease of 82.49% for the oven-treated series after 69 months in the soil conditions.



(a)



(b)

Figure 2. Elongation at break (%) of LLDPE-P1 films during the artificial and oven ageing and during the soil burial experiment (a) in parallel and (b) in transverse direction

3.2 Evolution of the Thermal Properties through DSC Measurements

Figure 3 shows the crystallinity values of the LLDPE-P1 mulching films tested before their use, during their application in the experimental field and after their burial in the soil for 6-7 years.

It is shown that the mulching films (LLDPE-P1-1,2) presented a gradual increase of their crystallinity during their application at the field. The increase of the crystallinity of LLDPE material containing prooxidants during its exposure to UV radiation is also stated in the work of (Roy et al., 2008) where accelerated photodegradation studies were performed on LLDPE samples containing cobalt stearate. Due to the fact that LLDPE is a semicrystalline polymer in which the

polymeric chains pass through both the crystalline and amorphous regions, and due to the gradual depletion of the amorphous phase, the crystallinity presented an increase during the photodegradation process.

The crystallinity values of the samples from the two series "LLDPE-P1-mulch", "LLDPE-P1-massive" is shown to remain almost unchanged after the soil burial period for 69 months retaining the same values that were reached after the application in the cultivation for 11 weeks. However they show a ~36% decrease in their initial crystallinity values from the 69th to the 82nd month of soil burial (13 months).

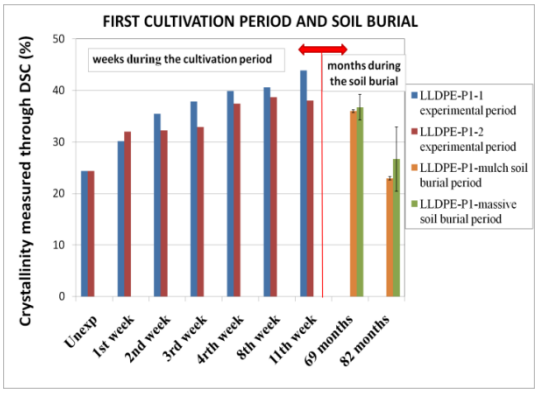


Figure 3 Evolution of crystallinity values of LLDPE-P1 samples before, during the exposure in the field and after their burial for 69 and 82 monts in the soil

Figure 4 shows the progress of the crystallinity values based on DSC measurements of the films during the artificial ageing procedure (Kyrikou I. et al., 2011), in correlation to the corresponding values measured during the soil burial exposure, up to 82 months. A gradual increase is observed during the UV degradation of the material. A similar, but stronger, trend was noted as a result of photo-degradation of the LLDPE-P1 films during the cultivation period (natural ageing) that took place in the framework of the field experiments (Figure 3). This increase in crystallinity has been associated in the literature with a simultaneous decrease in the average molecular weight of the exposed samples (Koutny et al., 2006; Viswanath, 2010; Torikai, 1994). It is also correlated to the degradation of the mechanical properties of the tested materials during the cultivation period (Kyrikou et al., 2011) also confirmed by analogous research results reported in the literature (Koutny et al., 2006; Viswanath, 2010; Torikai, 1994). Likewise, characterization of LLDPE films containing pro-oxidant samples by DSC after 93 days of sunlight exposure showed a slight increase in their crystallinity in comparison to unexposed samples (Corti et al., 2010). Evidently, sunlight-induced ageing oxidized these films producing lower molecular weight products. Because oxidation is primarily confined to the amorphous portion of the polymer matrix, the remainder of the polymer is more susceptible to molecular reorganization which may explain the increase in the crystallinity of the pro-oxidant containing photo-oxidized films.

Additionally, a continuing increasing trend of the crystallinity is observed for the three series of the films during their exposure in burial conditions until the 69th month and then there is a decrease after 82 months (similar to the one of the films exposed first to cultivation conditions). The series of samples that were pre-treated in the UV apparatus for 800 h (1,1 months), exhibited higher crystallinity per 28% when compared to the unexposed to the UV degradation samples. Identical behavior was recorded in the case of the crystallinity values of "LLDPE-P1-mulch" and "LLDPE-P1-massive" samples during their soil burial for 69 and 82 months following their exposure in natural ageing as shown in Figure 3.

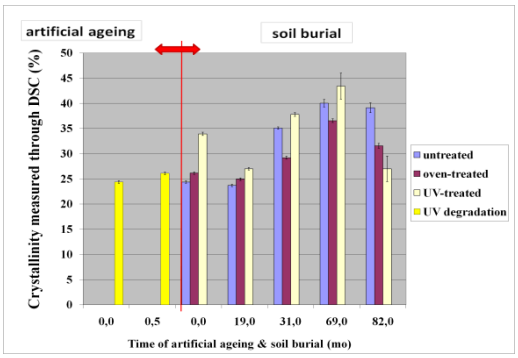


Figure 4 Crystallinity values of the LLDPE-P1 mulching films based on DSC measurements during the artificial ageing procedure and during the soil burial exposure up to 82 months

3.3 Identification of chemical composition changes through FTIR Spectroscopy

It is known that the infrared spectra of LLDPE samples under UV irradiation show that the carbonyl region 1850 cm^{-1} - 1675 cm^{-1} consistent with a mixture of carboxylic acid and ketone species, increases in most cases (Tidjani, 2000).

The carbonyl index (CI) of the spectra was defined in this work as the ratio of carbonyl to methylene absorbance and was used to express the concentration levels of carbonyl compounds measured by FTIR-ATR. The CI was calculated as the ratio of the optical density of the carbonyl absorption band at 1714 cm^{-1} over the optical density of the methylene absorption band at 1462 cm^{-1} (CH_2 scissoring peak) (Koutny et al., 2008; Abrusci et al., 2011; Kalus, 2007; Sangwan & Dean, 2011).

The carbonyl index of the LLDPE-P1 mulching films during the cultivation experiment exhibited a continuously increasing trend till the 6th week (total duration of experiment: 11 weeks) (Kyrikou et al., 2011). After the soil burial of these films for 6-7 years, the carbonyl index of the samples was zeroed. It appears that the carbonyl species disappear during the soil burial period, despite that the samples show serious degradation but no disintegration signs.

FTIR-ATR spectra run on the untreated and oven-treated series of LLDPE-P1 films and then exposed in the soil for 19, 31, 69 and 82 months showed identical absorption peaks (i.e. no change in chemical structure) at 2900, 2800 cm^{-1} (C-H stretching

vibrations of polyethylene), 1470, 1460, 1370 cm^{-1} (methylene group scissoring and bending vibrations - CH_2 in polyethylene) and 730 and 718-720cm^{-1} (CH_2 rocking modes in polyethylene) (Western Washington University, Spectra Analysis Instruments, Krimm et al., 1956). For the case of the UV-treated series of samples, after the first 15 days of exposure in the artificial ageing conditions a carbonyl band is identified at 1715 cm^{-1}.According to the results presented in Figure 5 it is evident that the carbonyls found as oxidation products due to the UV radiation exposure, follow an increasing trend during the exposure of the LLDPE-P1 samples in the artificially ageing procedure. During the soil burial phase, the quantity of carbonyl compounds is gradually decreasing already after the first 19 months of the experiment when a 22% loss has been recorded when compared to the carbonyls calculated after the exposure for 26 days in the UV apparatus. Thereafter an abrupt decrease is observed in the carbonyls after 31 months of burial exposure per 96%. A gradual slow increase follows the time of exposure for the remaining period, an indication of continuing abiotic degradation with time of exposure in the soil: after 82 months, the concentration of carbonyls became 5 times higher when compared to the corresponding index of the 31 months soil burial. No formation of carbonyls is observed for the untreated / oven-treated series of samples during the soil burial period except for oven treated samples after 82 months that show carbonyls formation like the UV pretreated samples.

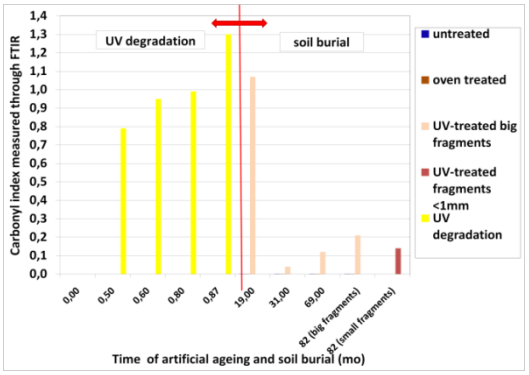


Figure 5 Evolution of the carbonyl index of the LLDPE-P1 mulching film samples during the artificial ageing procedure and during their exposure in soil burial conditions

3.4 Evolution of the disintegration of the LLDPE-P1 films in soil over a period of seven years

The changes in the weights of the recovered samples or fragments of the four series are graphically shown in Figure 6. The "LLDPE-P1 untreated" series and the "LLDPE-P1 oven-treated" series of samples were almost totally recovered from soil during the whole duration of the experiment. In the case of the UV-treated samples, the weight of recovered fragments during the time period of 19 up to 31 months decreased by 4%. Considering that the micro-fragmentation was more intensive after 31 months burial in the field, the separation and collection of some of the very small micro-fragments and of those which were almost invisible from the soil aggregates was not possible. The weight of the recovered UV treated sample after 69 and 82 months of soil burial indicates a significant decrease of the weight of the tiny micro-fragments that were possible to be recovered of 61.3% and 89%, respectively vs 10.62% not recovered after 31 months in the soil. An increasing with the time of exposure percentage of very small fragments in the case of the UV-treated series, was invisible by naked eye (especially in the case of the sample exposed for 82 months). The size of these invisible fragments was measured by microscope to be smaller than the size of the net (e.g. plastic fragment 500 μm v.s. net dimensions: 0.35 mm - 1 mm). This suggests that the possibility that a percentage of the smallest micro-fragments transported by ground water flow away through soil macropores (size >75 μm) and possibly soil mesopores (75 μm–30 μm), is high. Further, the efficiency of the separation method in collecting and weighing all fragments present in the pouch is questionable as it was practically impossible to collect invisible micro-fragments from the water-glucose solution.

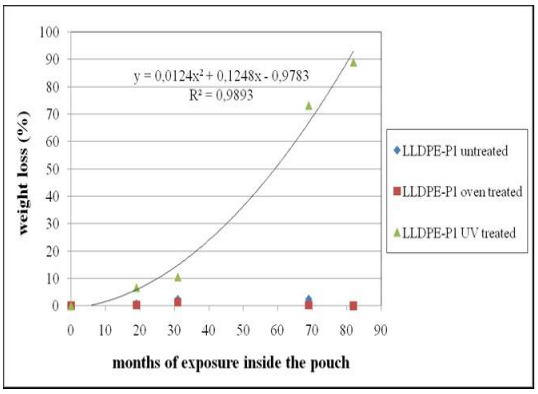


Figure 6 Evolution of the weight of the LLDPE-P1 samples/fragments that could be recovered following their exposure in the soil under real field conditions

CONCLUSIONS

LLDPE mulching films with prooxidants were investigated regarding possible changes in the chemical and thermal properties, as well as their mechanical properties evolution, after their burial in the soil under real field conditions for a total duration of 7 years following their use in watermelon cultivation. Apart from a further degradation of the mechanical properties of the already degraded film, no disintegration signs or any other serious degradation of the material of the films occurred during burial in the soil, according to spectroscopic and thermal analysis.

At the same time, samples of LLDPE films with prooxidants that were exposed in accelerated UV or thermal ageing were exposed in soil burial conditions in the same field: based on the evolution of the weight of samples pre-treated by UV-A, and UV-B radiation and recovered in four recalls, high disintegration rate is observed with time leading to fragmentation of the samples into tiny invisible micro-fragments. Samples

aged at the oven did not present high fragmentation behaviour, but mainly mechanical degradation.

These findings indicate a serious risk of accumulation of degraded PE in the soil, if this type of mulching film is used for consecutive years in the field and is incorporated into the soil at the end of the cultivation period. Polyethylene mulching films with pro-oxidants strongly degraded during their useful life-time, and buried in the soil at the end of the cultivation period, will be slowly transformed into invisible tiny micro-fragments polluting the soil and water. The fate of these invisible micro-fragments is unpredictable.

4. ACKNOWLEDGEMENTS

This work was partially supported by the Environment-Pythagoras II Program of GSRT, 2005-07.

5. REFERENCES

Abrusci C, Pablos JL, Corrales T, López-Marín J, Marín I, Catalina F. Biodegradation of photo-degraded mulching films based on polyethylenes and stearates of calcium and iron as pro-oxidant additives. International Biodeterioration & Biodegradation 2011; 65: 451-459

BASF the chemical company, Get a grip on light with Uvinul-Light stabilizers from BASF: Expect more! URL:http://www.supmat.com/download/BASF/uvinul_get_a_grip_1604e.pdf

Bonora, M. and De Corte, D. 2003. Additives for controlled degradation of agricultural plastics: ENVIROCARETM. Macromol. Symp. 197: 443-453

Corti A, Muniyasamy S, Vitali M, Imamc SH, Chiellini E. Oxidation and biodegradation of polyethylene films containing pro-oxidant additives: Synergistic effects of sunlight exposure, thermal aging and fungal biodegradation. Polymer Degradation and Stability 2010; 95: 1106-1114

Feuilloley P. Ce plastique faussement biodégradable. La Recherche 2004; 374:52-4.

Fritz J. Strategies for detecting ecotoxicologic effect of biodegradable polymers in agricultural application. Macromolecular Symposia 2003; 197:397-409

Kalus J., Oxo-Degradable Polyethylene Films, Master Thesis 2007, Tomas Bata University in Zlin Faculty of technology

Koutny M, Lemaire J, Delort AM. Biodegradation of polyethylene films with prooxidant additives. Chemosphere 2006; 64 (8):1243-1252.

Koutny M., Vaclavkova T., Matisova-Rychla L, Rychly J. Characterization of oxidation progress by chemiluminescence: A study of polyethylene with pro-oxidant additives. Polymer Degradation and Stability 2008; 93: 1515–1519

Krimm S., Liang C. Y., Sutherland G. B. B. M., Infrared Spectra of High Polymers. Part II. Polyethylene. The Journal of Chemical Physics; 1956, 25 (3), 549-562

Kyrikou I, Briassoulis D, Hiskakis M, Babou E. Analysis of photo-chemical degradation behavior of polyethylene mulching film with pro-oxidants. Polymer Degradation and Stability 2011; 96 (12): 2237–2252

LABELAGRIWASTE, http://labelagriwaste.aua.gr, 'Labelling agricultural plastic waste for valorising the waste stream', Collective research, LABELAGRIWASTE, Contract no. 516256-2

Roy PK, Surekha P, Rajagopal C, Choudhary V. Degradation Behavior of Linear Low-Density Polyethylene Films Containing Prooxidants Under Accelerated Test Conditions. Journal of Applied Polymer Science 2008; 108: 2726–2733Sangwan P., Dean K., Degradable Plastics Packaging Materials: Assessment and Implication for the Australian Environment. Final Report, Materials Science and Engineering, CSIRO - EP114268, 8th June 2011, Australia

Scott G. and Gilead D. (1995) Editors, Degradable polymers: principles and applications, Kluwer Academic Publishers/Chapman and Hall.

Spectra Analysis Instruments, Inc., DiscovIR-LC Deposition and Detection System. Application Note 032, November 2009, URL: www.spectra-analysis.com, http://www.spectra-analysis.com/applications/documents/AppNote032IR-LCCharacterizationofPolyolefins.pdf

Thompson R.C., Olsen Y., Mitchell R.P., Davis A., Rowland S.J., John A.W.G, et al. (2004) Science 304:838.

Tidjani A. Comparison of formation of oxidation products during photo-oxidation of linear low density polyethylene under different natural and accelerated weathering conditions. Polymer Degradation and Stability 2000; 68: 465-469

Torikai A. Photo- and Radiation-Induced Degradation of Synthetic Polymers: Polymer Structure and Stability. J Mater Chem 1994; 216:225-241

Viswanath V. Degradation Studies of Polypropylene Fibers and Nonwovens with Prodegradant Additives. A thesis submitted to the Graduate Faculty of North Carolina State University, Textile Engineering. URL: http://repository.lib.ncsu.edu/ir/bitstream/1840.16/6302/1/etd.pdf (date of last access: March 2012), 2010

Western Washington University WWU, Department of Chemistry, Infrared Spectroscopy

URL of WWU: http://www.chem.wwu.edu/dept/wwuchem.html

ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΒΙΟΚΛΙΜΑΤΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΧΟΛΙΚΩΝ ΑΥΛΩΝ

Δημήτριος Αντωνιάδης[1], Ιωάννης Τσιρογιάννης[2], Νικόλαος Κατσούλας[1], Ευαγγελινή Κίττα[3], Βασιλεία Χρηστίδου[3], Κωνσταντίνος Κίττας[1]

[1]Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών και Ελέγχου Περιβάλλοντος, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Οδός Φυτόκου, Τ.Κ. 38446, Νέα Ιωνία Μαγνησίας

[2]ΤΕΙ Ηπείρου, Τμ. Ανθοκομίας - Αρχιτεκτονικής Τοπίου, Κοστακιοι Άρτας, Τ.Κ. 47100, Άρτα

[3]Τμήμα Προσχολικής Εκπαίδευσης, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Αργοναυτών και Φιλελλήνων, Τ.Κ. 38221, Βόλος

Στην παρούσα εργασία, σε μία τυπική σχολική αυλή της πόλης της Νέας Ιωνίας Μαγνησίας, χαρτογραφήθηκε η χωρική διαφοροποίηση της θερμικής άνεσης χρησιμοποιώντας επί τόπου μετρήσεις μικροκλιματικών παραμέτρων (θερμοκρασία αέρα, ταχύτητα ανέμου, υγρασία αέρα, και ροές ακτινοβολίας) για τον υπολογισμό του θερμοφυσιολογικού δείκτη PET (Φυσιολογικά Ισοδύναμη Θερμοκρασία), ενώ καταγράφηκαν η διαφοροποίηση της υπεριώδους ακτινοβολίας UV, η ανάκλαση των υλικών και η θάμβωση που προκαλούν, σε σκιασμένες και εκτεθειμένες στον ήλιο επιφάνειες. Σκοπός της μελέτης αυτής ήταν η μέτρηση των βιοκλιματικών παραμέτρων και η κατάρτιση βιοκλιματικών χαρτών των αύλιων χώρων σε σχολικά κτίρια, ώστε να σχεδιαστούν και υλοποιηθούν σχέδια φύτευσης και παρεμβάσεων με σκοπό τη βελτίωση των βιοκλιματικών παραμέτρων της σχολικής αυλής και τη δημιουργία ελκυστικού και άνετου περιβάλλοντος.

Λέξεις κλειδιά: PET, βιοκλιματικοί χάρτες, θερμική άνεση, χωρική καταγραφή UV, ανάκλαση υλικών.

OPTIMIZATION OF BIOCLIMATIC PARAMETERS IN SCHOOLYARDS IN GREECE

Dimitrios Antoniadis[1], Ioannis Tsirogiannis[2], Nikolaos Katsoulas[1], Evagelini Kitta[3], Vasillia Christidou[3]Constantinos Kittas[1]

[1]Laboratory of Agricultural Constructions and Environmental Control, Department of Agriculture Crop Production and Rural Environment, University of Thessaly, Fytokou Street, N. Ionia, GR-38446, Volos, Greece

[2]TEI of Epirus, Dept. Floriculture - Landscape Architecture, Kostakioi in Arta, GR-47100, Arta, Greece

[3]Dept. of Preschool Education, University of Thessaly, Argonafton Street, GR-38221, Volos, Greece

dgantoniadis@gmail.com, agroworks@yahoo.gr, nkatsoul@gmail.com, eva.kitta@gmail.com , vchristi@uth.gr, ckittas@uth.gr

In the present project, in a typical schoolyard of the town of Volos, was mapped the differentiation of the thermal comfort, using on-site measurements of microclimatic parameters (air temperature, wind speed, humidity and radiation fluxes) for the calculation of the thermo physiological index PET (Equivalent Physiological Temperature), while it was mapped the differentiation of the UV radiation, the reflection of ground materials and the albedo that they provoke on sites exposed in sun or stayed shadowed. The target of the project is to estimate the bioclimatic parameters and to create bioclimatic maps of the schoolyards in schools, in order to design and execute Plantation schedules and interventions for the improvement of the bioclimatic parameters of the schoolyards and the creation of an attractive and relaxed environment.

Key words: schoolyards, PET, bioclimatic maps, spatial differentiation of thermal sense, UV mapping, albedo

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι μικροκλιματικές παράμετροι είναι κεντρικής σημασίας για τις δραστηριότητες που λαμβάνουν χώρο σε μια περιοχή και σε μεγάλο βαθμό καθορίζουν τη χρήση των αστικών υπαίθριων χώρων. Οι αντιδράσεις στο μικροκλίμα μπορεί να μην είναι συνειδητές αλλά συχνά οδηγούν σε διαφορετική χρήση του χώρου υπό διαφορετικές κλιματικές συνθήκες. Έτσι η κατανόηση των μικροκλιματικών χαρακτηριστικών των υπαίθριων αστικών χώρων και των επιπτώσεων τους στην άνεση των ανθρώπων που τους χρησιμοποιούν, είναι ιδιαίτερα σημαντική κατά το σχεδιασμό τους. Οι σχολικές αυλές είναι πολύ συχνά οι μόνοι ανοιχτοί χώροι σε πυκνοκατοικημένες αστικές περιοχές στις οποίες τα αδιαπέραστα υλικά (π.χ. τσιμέντο, άσφαλτος κτλ) κυριαρχούν, με αποτέλεσμα το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας να εντείνεται. Η επιπλέον αυτή θέρμανση στο κέντρο της πόλης σε σχέση με τα προάστια μπορεί να αποδοθεί σε διάφορους παράγοντες όπως η αυξημένη αποθήκευση αισθητής θερμότητας στα υλικά κατασκευής (π.χ. άσφαλτος, σκυρόδεμα), μειωμένες απώλειες μικρού μήκους κύματος ακτινοβολίας, αυξημένη παραγωγή ανθρωπογενούς θερμότητας, μειωμένη αποθήκευση λανθάνουσας θερμότητας εξαιτίας της έλλειψης βλάστησης, και άλλους, κάνοντας τη θερμική δυσφορία πιο έντονη στο κέντρο της πόλης εξαιτίας των υψηλότερων επιπέδων θερμοκρασίας. (Papanastasiou et al. 2010). Οι Santamouris et al. (2001) μελέτησαν την ένταση του φαινόμενου της θερμικής νησίδας στην Αθήνα στη διάρκεια του καλοκαιριού και βρήκαν ότι στους περισσότερους σταθμούς μέτρησης στο κέντρο της πόλης στη διάρκεια της ημέρας η διαφορά θερμοκρασίας πλησίαζε τους 10° C, ενώ οι Papanastasiou et al. (2012), υπολόγισαν στην πόλη του Βόλου τη μέγιστη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ

του κέντρου της πόλης και των προαστίων εξαιτίας του φαινόμενου της αστικής θερμικής νησίδας στους 3.4 και 3.1ºC στη διάρκεια του χειμώνα και του καλοκαιριού αντίστοιχα. Οι σχολικές αυλές είναι σημαντικές για τα παιδιά για την κατανόηση του περιβάλλοντος (Malone and Tranter 2003) και μπορούν υπό προϋποθέσεις να λειτουργήσουν ως ένα ιδιαίτερα εποικοδομητικό περιβάλλον, μέσα στο οποίο τα παιδιά να παίζουν, να εξερευνούν, να μαθαίνουν, να δημιουργούν και να συνεργάζονται, ερχόμενα σε επαφή με στοιχεία του φυσικού περιβάλλοντος. Τέτοιες προϋποθέσεις είναι α) η ενεργός συμμετοχή των παιδιών στη διαμόρφωση του χώρου της σχολικής αυλής, β) η δημιουργία ενός αύλειου χώρου που να περιλαμβάνει πληθώρα και ποικιλία στοιχείων και χώρων, γ) η παροχή ποικιλίας φυσικών ερεθισμάτων (π.χ. φυτών με διαφορετικά χαρακτηριστικά). Οι προϋποθέσεις αυτές παρέχουν στα παιδιά τη δυνατότητα να αλληλεπιδράσουν με πολλαπλούς τρόπους με το περιβάλλον, μεταξύ τους και με τους εκπαιδευτικούς, καθιστώντας τη σχολική αυλή όχι απλώς ένα χώρο ξεκούρασης και χαλάρωσης ανάμεσα στα μαθήματα, αλλά και χώρο που παρέχει σημαντικές ευκαιρίες μάθησης και δημιουργίας.

Τα τελευταία χρόνια υπάρχει μια στροφή στη διαμόρφωση των εξωτερικών χώρων όχι πλέον με βάση τη διαίσθηση, την υποκειμενικότητα ή την αυθεντία, αλλά τους παράγοντες που επηρεάζουν το μικροκλίμα. Παρόλα αυτά, ελάχιστες μελέτες έχουν γίνει σχετικά με τον αστικό σχεδιασμό υπαίθριων χώρων και τη θερμική αίσθηση στους χώρους αυτούς (Gaitania et al., 2007; Nikolopoulou and Lykoudis, 2007). Πρόσφατες μελέτες για τις συνθήκες θερμικής αίσθησης στην Αθήνα, βασίζονται στη χρήση δεδομένων μετεωρολογικών σταθμών (π.χ. Moustris et al. 2010; Pantavou et al. 2010), ενώ άλλες χρησιμοποιούν στατικούς ολοκληρωμένους μετεωρολογικούς σταθμούς και ερωτηματολόγια για την καταγραφή της αίσθησης του ατόμου στις διαφορετικές μικροκλιματικές συνθήκες (Τσαρτσάλη Ε., 2011). Τέλος, έχει μελετηθεί η εφαρμογή του GIS στη μελέτη της θερμικής άνεσης (Kantor and Unger, 2010) και στην αρχιτεκτονική τοπίου (Hanna,1999). Στην παρούσα μελέτη στόχος ήταν να ποσοτικοποιηθεί η θερμική άνεση στις διάφορες μικροκλιματικές συνθήκες μιας σχολικής αυλής με επί τόπου μετρήσεις των μικροκλιματικών παραγόντων με βάση τους οποίους υπολογίζεται ο θερμοφυσιολογικός δείκτης PET (Physiological Equivalent Temperature) (Mantzarakis,1999). Η χωρική κατανομή των τιμών του δείκτη PET και των υπολοίπων βιοκλιματικών παραμέτρων οπτικοποιείται με τη χρήση του ArcGIS κι έτσι παράγονται βιοκλιματικοί χάρτες της αυλής.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1. Χαρακτηριστικά της σχολικής αυλής

Η έρευνα έγινε στη σχολική αυλή που εξυπηρετεί τα δημοτικά σχολεία 1ο και 2ο Νέας Ιωνίας Μαγνησίας, στη διάρκεια του σχολικού έτους 2010-2011. Όπως παρουσιάζεται στην αεροφωτογραφία (Εικ. 1), η σχολική αυλή περιβάλλεται από τρία σχολικά κτίρια και περιλαμβάνει ένα γήπεδο ποδοσφαίρου και ένα γήπεδο μπάσκετ. Τα υλικά επίστρωσης του δαπέδου της αυλής είναι 2032 m^2 άσφαλτος (42,4% της έκτασης της αυλής), 1379 m^2 κυβόλιθοι (28,8%), 590 m^2 πλάκες σχιστόλιθου (Πλάκες Πηλίου) (12,4%), 419 m^2 καταλαμβάνουν 3 παρτέρια με χώμα και γκαζόν (8,7%), 200 m^2 τσιμέντο (4,2%), 93 m^2 χώμα (1,9%), 76 m^2 πλάκες τσιμέντου (1,6%), ενώ υπάρχουν περιφερειακά 20 δέντρα μεγάλου και μεσαίου μεγέθους, ένα κιόσκι ύψους 3 μέτρων με κεραμίδια και 2 μεταλλικά στέγαστρα ύψους 5 μέτρων. Στη ΝΔ πλευρά της αυλής υπήρχε κτίριο υπό κατασκευή και κοντά σε αυτό δεν έγιναν μετρήσεις.

Εικ. 1: Γενική άποψη (εικόνα από την google.com)

2.2. Μετρήσεις παραγόντων μικροκλίματος

Για να υπολογιστούν οι συνθήκες θερμικής άνεσης, η σχολική αυλή χωρίστηκε σε κάναβο με άνοιγμα 20mx20m στον οποίο επιλέχθηκαν 50 βασικά σημεία μέτρησης, ο οποίος μίκραινε σε 10mx10m η 5mx5m σε περιοχές ιδιαίτερου ενδιαφέροντος (κοντά σε δέντρα, κτίρια και θέσεις όπου άλλαζαν τα υλικά επικάλυψης των επιφανειών) παίρνοντας επιπλέον επιτόπου μετρήσεις. Στα σημεία του κανάβου μετρήθηκαν απευθείας, οι ακόλουθοι μικροκλιματικοί παράγοντες: α) η θερμοκρασία και η σχετική υγρασία του αέρα (Hobo Microstation, model H21-002, OnSet Instruments, Bourne, MA, USA) β) η μικρού μήκους κύματος ηλιακή ακτινοβολία, με πέντε πυρανόμετρα με εύρος από 400-1100 nm (model SKS 1110, Skye, Llandrindod Wells, Powys, UK). Τα πυρανόμετρα μετρούσαν σε ύψος 1.1 m πάνω από το έδαφος. Ένα πυρανόμετρο ήταν τοποθετημένο κάθετα προς τα επάνω μετρώντας την ολική προσπίπτουσα ακτινοβολία, ένα πυρανόμετρο κάθετα προς τα κάτω μετρούσε την ανακλώμενη από το έδαφος ακτινοβολία, ενώ τα άλλα τρία πυρανόμετρα ήταν τοποθετημένα οριζόντια στις άκρες ενός ισοσκελούς τριγώνου, μετρώντας την ανακλώμενη από τις κάθετες επιφάνειες ακτινοβολία, γ) η ταχύτητα του

ανέμου, χρησιμοποιώντας ένα ανεμόμετρο υπερήχων (model 1405-PK-040 Windsonic, Gill Instruments, Llandrindod Wells, Powys, UK). δ) αισθητήρας UV (Skye, Llandrindod Wells, Powys, UK) στα 2m. Όλοι οι αισθητήρες ήταν τοποθετημένοι σε στύλο, ο οποίος ήταν εξοπλισμένος με πυξίδα για τον προσανατολισμό και αλφάδι για την οριζοντιοθέτηση. Ο ιστός παρέμενε από 1 έως 3 λεπτά σε κάθε σημείο μέτρησης του κανάβου και οι μετρήσεις των μετεωρολογικών παραμέτρων γίνονταν 10s και αποθηκεύονταν σε ένα καταγραφέα δεδομένων (model DL3000, DeltaT, Burwell Cambridge, UK). Σημειώνεται ότι βασικό ζητούμενο των αισθητήρων που χρησιμοποιήθηκαν, ήταν η άμεση απόκριση στις αλλαγές των συνθηκών ώστε να είναι δυνατή η καταγραφή διαφορετικών τιμών μεταξύ των σημείων του κανάβου.

Ένας μετεωρολογικός σταθμός αναφοράς (model iMetos, PESSL Instruments GmbH, Weiz, A), ήταν τοποθετημένος σε ύψος 2 μέτρων, σε ένα χαρακτηριστικό σημείο της αυλής εκτεθειμένο στον ήλιο. Ο στατικός σταθμός, μετρούσε τη θερμοκρασία του αέρα, τη σχετική υγρασία, την ολική προσπίπτουσα ακτινοβολία και την ταχύτητα του ανέμου (μέσους όρους δεκαλέπτου). Οι μετρήσεις των συνθηκών του περιβάλλοντος με το μικρομετεωρολογικό σταθμό έγιναν στις 4/4/2011, 14/5/2011 και στις 11/6/2011 σε συνθήκες καθαρού ουρανού, κοντά ή ακριβώς στις χαρακτηριστικές μέρες της ηλιακής ακτινοβολίας όπου η συνολική ημερήσια ακτινοβολία ισούται με τη μέση μηνιαία ακτινοβολία, με ένα εύρος ±2 ώρες γύρω από το ηλιακό μεσημέρι (τοπική ώρα).

2.3. Υπολογισμός του δείκτη PET

Ο υπολογισμός του δείκτη PET βασίζεται στο μοντέλο MEMI (Munich Energy-balance Model for Individuals) (Matzarakis et al., 1999), προκύπτει από το μαθηματικό συνδυασμό μετεωρολογικών παραμέτρων καθώς και των χαρακτηριστικών του ανθρώπου που δέχεται τις επιδράσεις των μετεωρολογικών παραμέτρων. Σημαντική παράμετρος στη διαμόρφωση της θερμικής άνεσης αποτελεί η Μέση Θερμοκρασία Ακτινοβολίας (T_{mrt}, ^oC), που εκφράζει την ανταλλαγή θερμότητας μέσω ακτινοβολίας μεταξύ διαφόρων σωμάτων. Οι εξισώσεις αυτές για τον υπολογισμό της T_{mrt} και του δείκτη PET, είναι ενσωματωμένες στο εύχρηστο λογισμικό RAYMAN (Mantzarakis et al. 2007, 2010), στο οποίο εισήχθησαν ως δεδομένα οι τιμές των μικρομετεωρολογικών παραμέτρων για κάθε σημείο μέτρησης και υπολογίστηκαν οι τιμές PET, για άνθρωπο μέσου ύψους 1,75, βάρους 70 κιλών, με μέση δραστηριότητα, με παραγωγή έργου ίση με 80W και συντελεστή κάλυψης του σώματος με ρουχισμό ίσο με 0.9. Ο PET μετριέται σε ^oC, κάτι που τον κάνει εύκολα συγκρίσιμο με την τιμή της θερμοκρασίας του αέρα. Τιμές θερμοκρασιών του PET από 18 έως 23^oC περιγράφουν περιβάλλον θερμικά ουδέτερο, από 23 έως 29^oC ελαφρά θερμό, από 29 έως 35^oC θερμό, από 35^oC και πάνω πολύ ζεστό και από 41^oC και πάνω πάρα πολύ ζεστό.

Βέβαια ο PET αναφέρεται σε ένα άνθρωπο με τυποποιημένα χαρακτηριστικά (ύψος, ηλικία, βάρος κτλ) και υπολογίζεται με τυποποιημένες ρυθμίσεις. Δείχνει τη θερμική αίσθηση του συγκεκριμένου προτύπου ανθρώπου και το χρησιμοποιούμε ως αναφορά για την εκτίμηση του θερμικού περιβάλλοντος.

Η μικρότερη εκτεθειμένη επιφάνεια λόγω μικρότερου συνολικού όγκου των παιδιών στην ανταλλαγή θερμότητας λόγω ακτινοβολίας θα μειώνει την T_{mrt} άρα και την τιμή του PET, ενώ θα είναι μεγαλύτερη η επίδραση στην θερμοκρασία ακτινοβολίας η ανακλώμενη από το δάπεδο υπέρυθρη ακτινοβολία λόγω μεγαλύτερης εγγύτητας των παιδιών σε αυτό.

2.4. Βιοκλιματικοί χάρτες

Οι τιμές του PET που υπολογίστηκαν από όλα τα σημεία του κανάβου, τοποθετήθηκαν στη συνέχεια ως δεδομένα εισαγωγής στο πρόγραμμα ArcGIS (v.9.3, ESRI, Redlands, CA, USA). Χρησιμοποιήθηκε το εργαλείο Spatial Analyst tool για τη μέθοδο spline spatial interpolation method (Hanna, 1999), ώστε να παραχθούν οι σχετικοί βιοκλιματικοί χάρτες (Εικ.2).

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται, αφορούν στις μετρήσεις που έγιναν στις 14/5/11. Έγιναν μετρήσεις στα 50 βασικά σημεία και σε 62 ενδιάμεσες θέσεις ενδιαφέροντος του κανάβου, με στάσεις από 1 έως 3 λεπτά, από τις 12:00 το μεσημέρι, μέχρι τις 14:30. Το Μάιο η μέση ώρα του ηλιακού μεσημεριού είναι στις 12.29 τοπική ώρα, επομένως ο χρόνος που διήρκησαν οι μετρήσεις δεν επαρκεί για να μεταβληθούν σημαντικά οι γενικότερες μετεωρολογικές συνθήκες, ως εκ τούτου οι μετρήσεις στα σημεία του κανάβου είναι συγκρίσιμες μεταξύ τους.

Η θερμοκρασία του αέρα κυμάνθηκε από 20,6 ^oC στο πρώτο σημείο μέτρησης στις 12:00 το μεσημέρι, μέχρι τους 24.1^oC στις 14:30, Παρόλα αυτά η θερμοκρασία που αποτυπώνει τη θερμική αίσθηση (δείκτης PET, σε ^oC), παρουσίασε μεγάλες χωρικές διαφοροποιήσεις και κυμάνθηκε από 16.3^oC στη σκιά του πεύκου, μέχρι τους 4107^oC στα όρια του πολύ ζεστού, κοντά σε νότιο ανοιχτόχρωμο τοίχο εκτεθειμένο στον ήλιο. Η μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας ($T_{mrt,}$), όπως υπολογίστηκε από το μοντέλο RAYMAN, κυμάνθηκε από 17.9^oC στη βαθιά σκιά πεύκου μέχρι τους 61.2^oC μπροστά από Νότιο ανοιχτόχρωμο τοίχο εκτεθειμένο στον ήλιο. Οι θερμοκρασίες δέρματος (T_s) στις ίδιες θέσεις, υπολογίστηκαν με το ίδιο μοντέλο στους 20^oC και 47.7^oC αντίστοιχα.

3.1. Σκίαση

Την ημέρα μέτρησης ο ουρανός ήταν καθαρός και ηλιόλουστος. Οι τιμές της ολικής ακτινοβολίας ήταν υψηλές και κυμαίνονταν από 960 W/m^2 έως 860 W/m^2, στην αρχή και στο τέλος των μετρήσεων αντίστοιχα, στο σταθμό αναφοράς. Οι τιμές

ακτινοβολίας που καταγράφηκαν κάτω από τα διάφορα δέντρα και τον αστικό εξοπλισμό της αυλής, οι αντίστοιχες τιμές εκτός σκιάς, καθώς και το ποσοστό μεταβολής, παρουσιάζονται στον Πίνακα 1.

3.2. PET

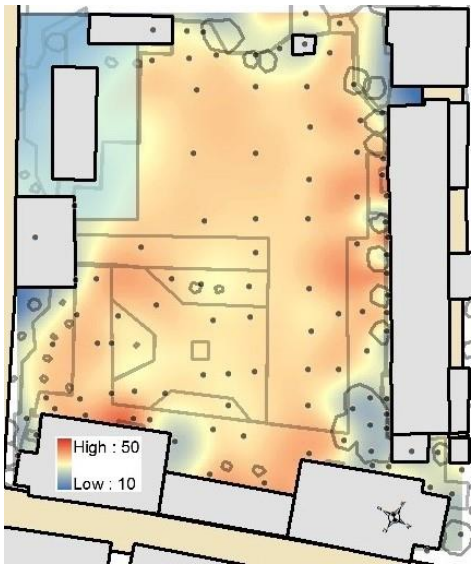
Οι μετρήσεις κοντά σε Νότιο ανοιχτόχρωμο τοίχο εκτεθειμένο στον ήλιο, έδωσαν πολύ υψηλές τιμές PET, από 37.1 έως 41.2°C, στα όρια της θερμικής αίσθησης του πολύ ζεστού, με τη μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας να κυμαίνεται από 59.5 έως 60.1°C. Οι υψηλές αυτές τιμές του PET, οφείλονται κυρίως στην ακτινοβολία από ανάκλαση από τους ανοιχτόχρωμους τοίχους, αλλά και στη μειωμένη ταχύτητα του ανέμου λόγω του εμποδίου του κτιρίου, που αύξησαν σημαντικά την τιμή της T_{mrt}. Σε Δυτικό ανοιχτόχρωμο τοίχο, οι τιμές του PET κυμαίνονταν από 38.3 έως 41.7 για τους ίδιους λόγους, με τις τιμές θερμικής αίσθησης του PET να είναι στη ζώνη του πολύ ζεστού. Σε θέσεις κοντά σε Νότιο ανοιχτόχρωμο τοίχο που βρίσκονταν στη σκιά δέντρων λεύκας μεσαίου μεγέθους, οι αντίστοιχες τιμές PET ήταν στην περιοχή της ουδέτερης αίσθησης έως 21.6°C, μειωμένες κατά 40%, σε σχέση με τους 36.,2°C έξω από τη σκιά λεύκας. Σε θέσεις κοντά σε Νότιο ανοιχτόχρωμο τοίχο στη σκιά πεύκου, οι τιμές του PET ήταν κατά μέσο όρο 16.7°C μειωμένες κατά 42% σε σχέση με τους 28.8°C στη ζώνη της θερμικής αίσθησης του ελαφρώς θερμού, που μετρήθηκαν έξω από τη σκιά του πεύκου. Στη σκιά δέντρου ακακίας, οι τιμές του PET κάτω από το δέντρο ήταν 19.9°C στην περιοχή της ουδέτερης αίσθησης, μειωμένες κατά 36.5% σε σχέση με τους 31.3°C στη ζώνη της αίσθησης του θερμού, έξω από τη σκιά του δέντρου. Στη σκιά παλαιού δέντρου κυπαρισσιού, οι τιμές του PET κάτω από το δέντρο ήταν 20°C, στην περιοχή της ουδέτερης αίσθησης, μειωμένες κατά 48% σε σχέση με τους 38.3°C, στη ζώνη του πολύ ζεστού, έξω από τη σκιά του δέντρου.

Πίνακας 1:. Μείωση της ολικής προσπίπτουσας ακτινοβολίας στη σκιά της κόμης δέντρων

	Ύψος / Ø κόμης (m)	Εκτός Σκιάς (W/m²)	Στη σκιά (W/m²)	Μεταβολή %
Λεύκα (*P.alba*)	8 / 5	960	127	- 87
Πεύκο (*P.halepensis*)	10 / 12	908	53	- 94.1
Κυπαρίσσι (*C.sempervirens*)	14 / 4	860	50.5	- 94.2
Ακακία (*R. pseudacacia*)	12 / 6	906	83	- 91.6
Πλάτανος (*Pl.occidentalis*)	10 / 6	883	91	- 89.7
Μεταλλικό στέγαστρο	5	863	59	- 93.2
Κιόσκι	3	912	53	- 94.1

Κάτω από τη σκιά πλατάνου, η μέτρηση της τιμής PET, η οποία έγινε δίπλα σε ανατολικό τοίχο από μπετό με συνεισφορά ακτινοβολίας από ανάκλαση, ήταν κατά μέσο όρο 22.9 °C στα όρια της ουδέτερης θερμικής αίσθησης, μειωμένη κατά 28.8% σε σχέση με τους 32.2°C, στη ζώνη της θερμικής αίσθησης του θερμού, έξω από τη σκιά του πλατάνου. Κάτω από το κιόσκι, η τιμή του PET ήταν 19.9°C, στη ζώνη της ουδέτερης θερμικής αίσθησης, μειωμένη κατά 44% σε σχέση με τους 35.4°C στα όρια θερμικής αίσθησης του πολύ ζεστού έξω από το κιόσκι. Κάτω από το μεταλλικό στέγαστρο οι τιμές PET ήταν κατά μέσο όρο 21.2°C, στη ζώνη της ουδέτερης θερμικής αίσθησης, μειωμένες κατά 40% σε σχέση με τους 35°C στα όρια της θερμικής αίσθησης του πολύ ζεστού έξω από το στέγαστρο.

Η εισαγωγή των τιμών PET στο ArcGIS, έδωσε τον παρακάτω χαρακτηριστικό Βιοκλιματικό χάρτη για το Μάιο και τις υπόλοιπες εποχές του χρόνου που επικρατούν οι ίδιες συνθήκες περιβάλλοντος. Στο χάρτη αυτόν φαίνεται ότι μόνο σ΄ένα 8% της αυλής οι συνθήκες θερμικής αίσθησης βρίσκονται στο θερμικά ουδέτερο, σε θέσεις κάτω από τη σκιά των δέντρων, στη σκιά των στεγάστρων και σε διαμορφώσεις των κτιρίων που δημιουργούν σκιά. Στο υπόλοιπο 92% της αυλής οι συνθήκες θερμικής αίσθησης κυμαίνονται στα όρια του θερμού ως του πολύ ζεστού, με την αντίστοιχη αίσθηση θερμικής δυσφορίας λόγω ζέστης αντίστοιχα (Εικόνα 2).



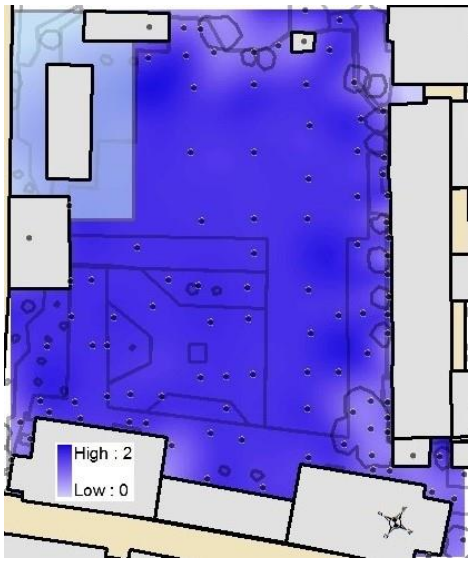
Εικ. 2: Χωρική κατανομή του δείκτη PET (°C). Χαρακτηριστικός Βιοκλιματικός χάρτης αυλής.

3.3. UV ακτινοβολία

Ο λόγος της ακτινοβολίας UV σε σχέση με την προσπίπτουσα ακτινοβολία αναφοράς κυμάνθηκε από 1.,57 έως 1.74 στον ανοιχτό χώρο. Στη σκιά των δέντρων, ο λόγος ήταν μειωμένος από 79.9% έως 92.3% ανάλογα με το είδος του δέντρου, στη σκιά του στεγάστρου μετρήθηκε μειωμένη κατά 93.7%, ενώ σε σκιασμένο βόρειο τοίχο η μείωση ήταν 85.5%. Η μείωση της UV, ακολουθούσε τη μείωση της ακτινοβολίας λόγω σκίασης από τα δέντρα και τα στέγαστρα (Εικόνα 3).

3.4. Λευκαύγεια (Albedo)

Το ποσοστό επί τοις εκατό της ανακλώμενης προς την προσπίπτουσα ηλιακής ακτινοβολίας (δείκτης ανάκλασης, albedo) σε παλαιά άσφαλτο εκτεθειμένη στον ήλιο, μετρήθηκε από 34% έως 39%, σε άσφαλτο βαμμένη με κίτρινη φωτοανακλαστική βαφή (κέντρο του γηπέδου μπάσκετ) μετρήθηκε στο 71%, ενώ σε άσφαλτο βαμμένη με κεραμιδί χρώμα στις μπασκέτες του γηπέδου μπάσκετ μετρήθηκε στο 51%. Σε γκρί κυβόλιθους εκτεθειμένους στον ήλιο από 45% έως 48%, σε πλάκες σχιστόλιθου (πλάκες Πηλίου) εκτεθειμένες στον ήλιο ο δείκτης μετρήθηκε από 51% έως 53%, σε παλαιά επίστρωση τσιμέντου μετρήθηκε στο 42%, σε γκαζόν όχι ποτισμένο εκτεθειμένο στον ήλιο μετρήθηκε από 49% έως 52%, σε χώμα εκτεθειμένο στον ήλιο στο 48%, ενώ σε παλαιά μάρμαρα της εισόδου στο 61%. Η ανάκλαση στους σκιασμένους χώρους είτε από βλάστηση είτε κάτω από τα στέγαστρα ήταν ανάλογα μειωμένη λόγω της μείωσης της προσπίπτουσας ακτινοβολίας.



Εικ. 3: Κατανομή του % λόγου της UV προς την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία στο σημείο αναφοράς στη σχολική αυλή.

4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Από την ανάλυση των αποτελεσμάτων των μετρήσεων, διαπιστώθηκε ότι παρότι υπήρχε μικρή διακύμανση στη θερμοκρασία του αέρα στα διάφορα σημεία μετρήσεων, ο PET εμφάνιζε μια όλο και ισχυρότερη χωρική διακύμανση, εξαιτίας της επίδρασης του ανέμου και των ροών ακτινοβολίας που εμφανίζονταν τοπικά. Μελετώντας τη χωρική κατανομή της θερμικής αίσθησης όπως προκύπτει από τους παραπάνω βιοκλιματικούς χάρτες, διαπιστώθηκε ότι σε συνθήκες άπνοιας και έντονης ηλιακής ακτινοβολίας τα 500 παιδιά των σχολείων, έχουν ένα 8% της έκτασης της σχολικής αυλής για να βρεθούν σε συνθήκες ουδέτερης θερμικής αίσθησης, ενώ στο υπόλοιπο 92% της έκτασης της σχολικής αυλής θα εκτεθούν σε συνθήκες έντονης θερμικής δυσφορίας. Τέτοιες συνθήκες που χαρακτηρίζουν θερμές περιόδους, μπορούν να εμφανιστούν από το τέλος Απριλίου έως το τέλος της σχολικής χρονιάς τον Ιούνιο και από την αρχή της σχολικής χρονιάς το Σεπτέμβριο, μέχρι τα τέλη Νοεμβρίου. Ο δείκτης PET χρησιμοποιήθηκε για να βοηθήσει στην απεικόνιση της χωρικής κατανομής της θερμικής αίσθησης και τη διαφοροποίηση της σε θέσεις με βλάστηση και αστικούς εξοπλισμούς και σε θέσεις χωρίς βλάστηση και να περιγραφούν οι συνθήκες θερμικής άνεσης σε μια τυπική σχολική αυλή.

Οι παραδοχές του Μοντέλου MEMI αναφέρονται σε άτομο 35 ετών, ύψους 1.8 m. βάρους 75 kg που φέρει ρουχισμό 0.9 clo. Η μικρότερη εκτεθειμένη επιφάνεια λόγω μικρότερου συνολικού όγκου των παιδιών στην ανταλλαγή θερμότητας λόγω ακτινοβολίας θα μειώνει την Tmrt άρα και την τιμή του PET , ενώ θα είναι μεγαλύτερη η επίδραση στην θερμοκρασία ακτινοβολίας η ανακλώμενη από το δάπεδο υπέρυθρη ακτινοβολία λόγω μεγαλύτερης εγγύτητας των παιδιών σε αυτό. Πάντως φαίνεται ότι η θερμική άνεση των παιδιών μερικώς υπερεκτιμάται ως απόλυτη τιμή με τη χρήση του εν λόγω μοντέλου.

Με παρεμβάσεις στις σχολικές αυλές είναι δυνατό να διαμορφώσουμε το χώρο ώστε να αυξηθούν οι περιοχές με ουδέτερη θερμική αίσθηση. Οι μετρήσεις που έγιναν στη σχολική αυλή, επιβεβαίωσαν ότι σε νότια γεωγραφικά πλάτη, η σκίαση είναι ο πιο καθοριστικός παράγοντας για τον έλεγχο της θερμικής άνεσης και σημαντική παράμετρος για την οπτική άνεση. Για το λόγο αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί μια ποικιλία σκιάστρων ή τύπων βλάστησης, ανάλογα με την επιθυμητή μορφή σκιάς. Από τη μελέτη φάνηκε ότι τα δέντρα ιδιαίτερα σε πλήρη ανάπτυξη, εκτός της αισθητικής τους αξίας προσφέρουν σοβαρά μικροκλιματικά οφέλη. Ανάλογα με το είδος του, την ηλικία του, τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των φύλλων του, τη διαμόρφωση και την πυκνότητα της κόμης του, ένα δέντρο μπορεί να περιορίσει την προσπίπτουσα ακτινοβολία μέχρι και 94% και να βελτιώσει το δείκτη θερμικής αίσθησης μέχρι και 48%, να περιορίσει την προσπίπτουσα υπεριώδη ακτινοβολία μέχρι και 93% και να βελτιώσει τις συνθήκες οπτικής άνεσης. Η χρήση υπολογιστικών μοντέλων προσομοίωσης που χρησιμοποιείται όλο και περισσότερο σήμερα για την βιοκλιματική εκτίμηση αστικών διαμορφώσεων, απαιτεί την εισαγωγή σωστών δεδομένων για την αξιοπιστία της προσομοίωσης. Ένα επόμενο στάδιο μελέτης θα ήταν η καταγραφή των χαρακτηριστικών των φυτών που απαιτούνται για την εισαγωγή τους ως δεδομένα σε τέτοια μοντέλα. Η εφαρμογή αυτών των συμπερασμάτων στην επαναδιαμόρφωση των σχολικών αυλών είναι ένας ενδιαφέρον και χρήσιμος στόχος. Ως προς τη θερμική άνεση, απαιτείται προφίλ σχεδιασμού εποχιακής χρήσης, ώστε να επιτευχθεί ένα πιο ήπιο και ευχάριστο περιβάλλον σε σχέση με τις επικρατούσες περιβαλλοντικές συνθήκες ανά εποχή. Μια εξίσου σημαντική παράμετρος διαμόρφωσης των βιοκλιματικών συνθηκών ενός χώρου, είναι η σύσταση των υλικών που τον συνθέτουν και πιο συγκεκριμένα η φύση του υλικού, το χρώμα του, η ανακλαστική του ικανότητα και οι θερμικές του ιδιότητες (Doulos et al.,2004). Η

λευκαύγεια (albedo), είναι καθοριστική για τη θερμική συμπεριφορά του υλικού, αφού όσο αυξάνεται, μειώνεται η ακτινοβολία που απορροφάται από το υλικό, επηρεάζοντας τόσο τη θερμοκρασία επιφάνειάς του όσο και τη θερμοκρασία αέρα κοντά σε αυτό. Η χρήση υλικών που επηρεάζουν το albedo ενός υλικού κάλυψης όπως π.χ οι φωτοανακλαστικές βαφές της ασφάλτου, μπορεί να έχουν ευεργετικά αποτελέσματα στην θερμική συμπεριφορά της ασφάλτου, αλλά θα πρέπει να προσεχτεί η χρήση τους ή να συνδυαστεί με παράγοντες σκίασης όπως τα δέντρα, γιατί επηρεάζουν αρνητικά την οπτική άνεση, οδηγώντας σε θάμβωση.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ο μικροκλιματικός σχεδιασμός χρειάζεται μια βαθιά κατανόηση στο πως τα μικροκλιματικά στοιχεία όπως ο αέρας και η ηλιακή ακτινοβολία, μπορούν να επηρεαστούν σημαντικά από στοιχεία αρχιτεκτονικής τοπίου. Η χρήση του GIS βοήθησε πολύ στην οπτικοποίηση αυτών των παραμέτρων. Στις σχολικές αυλές, το ελεύθερο παιχνίδι των παιδιών θα πρέπει να υποστηρίζεται από τη δημιουργία περιοχών που θα προάγουν τη δημιουργικότητα και τη φαντασία. Η παρουσία φυσικών στοιχείων (φυτά, δέντρα, νερό, άμμος κτλ) και μαλακών υλικών, θα συνεισφέρουν προς αυτήν την κατεύθυνση. Παιχνίδι φαντασίας που λαμβάνει χώρα γύρω από φράχτες, παγκάκια, τραπέζια, δέντρα κτλ και χρησιμοποιεί υλικά όπως φύλλα, ξύλα, άμμο, νερό κτλ, επιδρά σε όλους τους τομείς της ανάπτυξης των παιδιών : δημιουργικότητα, φαντασία, συναίσθημα, φυσιολογία. Επιπλέον, περιοχές όπου τα παιδιά μπορούν να συμμετέχουν στη δημιουργία του περιβάλλοντός τους (καλλιέργεια φυτών, βάψιμο τοίχων κτλ) μπορούν επίσης να συνεισφέρουν στην ανάπτυξη των ικανοτήτων τους και την επαφή τους με το περιβάλλον.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Doulos,L., Santamouris, M.,Livada,I., 2004. Passive cooling of outdoor urban spaces. The role of materials. Solar Energy 77 (2):231-249.

Dyment, J. E., 2005. Green school grounds as sites for outdoor learning: Barriers and opportunities. Intern. Res. in Geogr. & Env. Ed. 14(1): 28-45.

Gaitania N., Mihalakakou G., Santamouris M., 2007. On the use of bioclimatic architecture principles in order to improve thermal comfort conditions in outdoor spaces. Build & Environ., 42 (1): 317–324.

Hanna C. K., 1999. GIS for Landscape Architects, ESRI Press, California.

Kantor N., Unger J. 2010: Benefits and opportunities of adopting GIS in thermal comfort studies in resting places: An urban park as an example. Landscape and Urban Planning 98: 36–46.

Lindemann-Matthies, P., 2006. Investigating Nature on the Way to School: Responses to an educational programme by teachers and their pupils. Int. J. Science Education 28(8): 895-918.

Malone, K. and Tranter, P.J., 2003. Children's environmental learning and the use, design and management of schoolgrounds. Children, Youth and Environments, 13(2).

Matzarakis, A., Mayer, H., Iziomon, M., 1999. Applications of a universal thermal index: physiological equivalent temperature. Int. J. Biometeorol. 43, 76–84.

Matzarakis, A., Rutz, F., Mayer, H., 2007. Modelling radiation fluxes in simple and complex environments – application of the RayMan model. Int. J. Biometeorol. 51, 323–334.

Matzarakis, A., Rutz, F., Mayer, H., 2010. Modelling radiation fluxes in simple & complex environments: basics of the RayMan model. Int. J. Biometeorol. 54, 131–139.

Mayer, H., 2008. KLIMES – a joint research project on human thermal comfort in cities. Ber. Meteor. Inst. Univ. Freiburg 17, 101–117.

Moustris, K., Tsiros,I., Ziomas, I., Paliatso,A., 2010. "Artificial neural network models as a useful tool to forecast human thermal comfort using microclimatic and bioclimatic data in the great Athens area (Greece);. J. of Env. Sc. & Health 45 (A): 447-453.

Nikolopoulou, M., Lykoudis, S., 2007. Use of outdoor spaces and microclimate in a Mediterranean urban area. Build.& Environ. 42, 3691–3707.

Panagopoulos, 2008. Using microclimatic landscape design to create thermal comfort and energy efficiency. Actas da 1ª Conferência sobre Edifícios Eficientes, Universidade do Algarve, 25 de Janeiro de 2008. pp: 1-4.

Pantavou, A.,Theodoratos, G., Mavrakis, A., Santamouris, M, 2011. "Evaluating thermal comfort conditions and health responses during an extremely hot summer in Athens". Build.& Envi. 46(2): 339-344.

Papanastasiou, D., Kittas, C., 2012. "Maximum urban heat island intensity in a medium-sized coastal Mediterranean city" .Theor Appl Climatol (2012) 107: 407-416.

Papanastasiou, D., Melas, D., Bartzanas, T., Kittas, C., 2010: "Temperature, comfort and pollution levels during heat waves and the role of sea breeze". Int. J. Biometeorol (2010) 54:307-317

Santamouris M., Papanikolaou N, Livada I, Koronakis I, Georgakis C, Argiriou A, Assimakopoulos DN (2001) On the impact of urban climate on the energy consumption of buildings. Sol Energy 70:201-216

Woolner, P. and Tiplady L., 2009. School gardening as a potential activity for improving science learning in primary schools. Paper presented at BERA 2009, 2-5 September, Manchester.

Τσαρτσάλη Χρ. Ε. 2011. Συμβολή στο Σχεδιασμό Αστικών Υπαίθριων Χώρων με βιοκλιματικά κριτήρια», Μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα.

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΩΝ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΩΝ ΤΗΣ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΤΗΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ ΣΤΗ ΓΕΩΡΓΙΑ

Λ. Τούλιος[1] , G. Stancalie[2], P. Struzik[3] και F. M. Danson[4]
[1]ΕΛΓΟ 'ΔΗΜΗΤΡΑ', Ινστιτούτο Χαρτ/σης & Ταξ/σης Εδαφών, Οδός Θεοφράστου 1 Λάρισα, Τ.Κ. 41335, e-mail: ltoulios@nagref.gr
[2]National Meteorological Administration, Bucharest, Romania
[3]Institute of Meteorology and Water Management, Krakow, Poland
[4]Centre for Environmental Systems Research, University of Salford, United Kingdom

Η εργασία παρουσιάζει μια επισκόπηση της δυνατότητας της δορυφορικής τηλεπισκόπησης να αξιολογήσει τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στην ευρωπαϊκή γεωργία. Η δορυφορική τηλεπισκόπηση καθίσταται πολύ σημαντικό εργαλείο για τις αγροκλιματικές μελέτες κυρίως λόγω της διαθεσιμότητας διαχρονικής σειράς δεδομένων. Οι αισθητήρες των σύγχρονων μετεωρολογικών και περιβαλλοντικών δορυφόρων επιτρέπουν τον προσδιορισμό πολλών παραμέτρων χαρακτηρίζοντας την πραγματική κατάσταση της βιόσφαιρας και των χωρικών και χρονικών αλλαγών της. Μερικές από αυτές τις μεταβλητές μπορούν να μας δώσουν μια άμεση άποψη του γεωργικού αντίκτυπου της κλιματικής αλλαγής. Αν και τα διαχρονικά δορυφορικά στοιχεία είναι δύσκολο να αναλυθούν, λόγω ορισμένων περιορισμών όπως η υποβάθμιση των αισθητήρων, οι διαφορετικές μέθοδοι βαθμονόμησης των αισθητήρων και η μεταβλητότητα της φασματικής απόκρισης στις διάφορες δορυφορικές αποστολές, η επιρροή της κλιματικής αλλαγής στη βιόσφαιρα μπορεί να ελεγχθεί με τη χρήση των παραγόμενων πληροφοριών των δορυφόρων. Για τις παρατηρήσεις της βιόσφαιρας ένας σημαντικός περιοριστικός παράγοντας είναι η νεφοκάλυψη. Μεταξύ των ευρωπαϊκών χωρών υπάρχει μια μεγάλη ετερογένεια σχετικά με τα κλιματολογικά και βιοφυσικά στοιχεία που παραλαμβάνονται από τους δορυφορικούς αισθητήρες ή που συλλέγονται ως δορυφορικώς-παραγόμενα έτοιμα προϊόντα. Μερικοί ευρωπαϊκοί φορείς έχουν συλλέξει δορυφορικά στοιχεία συστηματικά για αρκετά έτη και αυτά τα αρχεία στοιχείων θα μπορούσαν να είναι χρήσιμα για τις μελέτες επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στη γεωργία. Οι κυριότερες μεταβλητές που συλλέγονται για επιχειρησιακές ή πειραματικές εφαρμογές είναι η θερμοκρασία της επιφάνειας του εδάφους και οι δείκτες βλάστησης. Περαιτέρω έρευνα θα αξιολογήσει τη διαθεσιμότητα και την ποιότητα της χρονικής σειράς φασματικών και βιοφυσικών στοιχείων διαθέσιμων από τους τρέχοντες και μελλοντικούς δορυφορικούς αισθητήρες.

Λέξεις κλειδιά: κλιματική αλλαγή, γεωργία, επιπτώσεις, τηλεπισκόπηση

REMOTE SENSING CHALLENGES FOR THE ASSESSMENT OF CLIMATE CHANGE IMPACT ON AGRICULTURE IN EUROPE

L. Toulios[1], G. Stancalie[2], P. Struzik[3] and **F. M. Danson[4]**
[1]ELGO 'DEMETER', Institute of Soil Mapping & Classification, Larissa, 41335, GR, e-mail: ltoulios@nagref.gr
[2]National Meteorological Administration, Bucharest, Romania
[3]Institute of Meteorology and Water Management, Krakow, Poland
[4]Centre for Environmental Systems Research, University of Salford, United Kingdom

In this study, the contribution of satellite-derived data for warning purposes in agriculture due to climate variability and change is discussed. Earth observation from space has a unique capacity to provide global data sets continuously and consistently not only on this level, but also on the national and local levels and the use of alert and warning systems must be based on such data. Evaluation of the agricultural impacts represents an important contribution for the assessment of vulnerability of agricultural systems to climate variability and change. Some of the climate and biophysical variables essential for understanding and monitoring the climate system and the impact on agriculture can be efficiently observed from space since this technology enables their systematic, global and homogeneous measurement. The analysis and the presentation of the data records which have been developed from operational satellite observations, presents the status of satellite climatic and biophysical data for warning purposes for agriculture, in Europe. Among European countries there is a great unhomogeneity concerning climatic and biophysical data received from satellite sensors or collected as satellite-derived ready products. Some of them are currently collecting satellite data for years and these data records could be useful for models for climate change impact studies. The main variables that are collected in operational or experimental way are land surface temperature and NDVI.

Key words : climate change, agriculture, satellite remote sensing

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα δορυφορικά στοιχεία προσφέρουν μια πρωτοφανή δυνατότητα για την έρευνα της επίδρασης του κλίματος στη γεωργία υπό τον όρο ότι τα χωριστά κατά αισθητήρα και δορυφόρο στοιχεία είναι ολοκληρωμένα σε υψηλής ποιότητας, παγκόσμια βιοφυσικά και κλιματικά προϊόντα. Η παρουσία μετεωρολογικών και περιβαλλοντικών δορυφόρων στο διάστημα από τη δεκαετία του '60 επιτρέπει πραγματικές μελέτες του κλίματος. Πρωτεύοντα θέματα είναι η ακρίβεια και η σταθερότητα των δορυφορικών μετρήσεων. Πραγματικά, δεν μπορούν όλες οι σχετικές με τα κλίματα μεταβλητές να επισημανθούν με τη χρήση των δορυφορικών αισθητήρων λόγω της μη ικανοποιητικής ακρίβειάς τους. Απαιτείται ιδιαίτερα βελτιωμένη βαθμονόμηση των δορυφορικών οργάνων καθώς και βαθμονόμηση μεταξύ των παρόμοιων οργάνων που 'πετούν' στους διαφορετικούς δορυφόρους για να επιτευχθεί η συνεχής λήψη παρατηρήσεων. Αυτό απαιτεί περιόδους επικαλύψεων διαδοχικών δορυφορικών αποστολών. Άλλο πρόβλημα αφορά τη διαχείριση των δεδομένων (επεξεργασία και επανεπεξεργασία). Η γρήγορη ανάπτυξη των γήινων παρατηρήσεων οδήγησε στον εξαιρετικά τεράστιο όγκο των δορυφορικών στοιχείων (Toulios and Stancalie, 2010).

Τα αρχεία δορυφορικών στοιχείων και τα εργαλεία που ψάχνουν και προάγουν τη χρήση τους δείχνουν, ότι μια μεγάλη ποικιλία πληροφοριών είναι ελεύθερα διαθέσιμη για τους χρήστες που θα επιθυμούσαν να μελετήσουν τις χρονικές και χωρικές αλλαγές της βλάστησης κατά τη διάρκεια των τελευταίων 10-30 ετών. Οι πληροφορίες αυτές επιτρέπουν την επιλογή μιας μεμονωμένης περιοχής ενδιαφέροντος που βρίσκεται σε οποιαδήποτε θέση στη γη και τον υπολογισμό ή τη χρήση των διαθέσιμων επεξεργασμένων δεικτών που χαρακτηρίζουν την κατάσταση της βλάστησης ή των αγρομετεωρολογικών συνθηκών. Οι διαθέσιμες αναλύσεις αρχίζουν από 250 μ (MODIS) και επεκτείνονται σε 16 χλμ (GAC NOAA). Το σημαντικότερο χαρακτηριστικό γνώρισμα των μακροπρόθεσμων αρχείων είναι η δυνατότητα να λαμβάνονται ή να υπολογίζονται εύκολα οι ανωμαλίες και οι τάσεις των ερευνώμενων παραμέτρων, οι οποίες επιτρέπουν τον προσδιορισμό των αλλαγών της βιόσφαιρας στη μεμονωμένη περιοχή. Τέτοιες μελέτες παρέχουν μια ευκαιρία να αναλυθούν οι πιθανές επιρροές της αλλαγής κλίματος στη γεωργία.

Η γνώση των σχεδίων αύξησης και ανάπτυξης των καλλιεργειών είναι ουσιαστική στο να βελτιώσει τις πρακτικές διαχείρισης και να μεγιστοποιήσει την παραγωγή. Τα δορυφορικά στοιχεία έχουν έναν τεράστιο αριθμό εφαρμογών στον προσδιορισμό των δεικτών που χρησιμοποιούνται στα μοντέλα διαμόρφωσης της φαινολογίας και της ανάπτυξης των καλλιεργειών. Το στρες που ασκεί άμεση επίδραση στην ανάπτυξη των φυτών και των βιοφυσικών διαδικασιών μπορεί να ανιχνευθεί επαρκώς από τα δορυφορικά στοιχεία και συγκεκριμένα με την χρήση των δεικτών βλάστησης. Κατά συνέπεια, οι δείκτες βλάστησης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αξιολόγηση και την πρόβλεψη της παραγωγής. Οι εφαρμογές έχουν δείξει την αυξανόμενες δυνατότητα και τις ικανότητες για την αξιολόγηση της παραγωγής μέσω των τεχνικών τηλεπισκόπησης (Toulios and Stancalie, 2010).

Η χρήση των μοντέλων αύξησης των καλλιεργειών σε μεγάλες γεωργικές περιοχές είναι περιορισμένη λόγω της παρούσας ικανότητας να παρασχεθούν οι κατάλληλες παράμετροι εισαγωγής. Είναι πολύ δύσκολο να ληφθούν τα χαρακτηριστικά των καλλιεργειών και του εδάφους για μεγάλες περιοχές, άμεσα από τις επιτόπιες παρατηρήσεις. Επομένως, τα στοιχεία τηλεπισκόπησης είναι ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο για να δώσουν τις πληροφορίες για τις διεργασίες αυτές σε μεγάλες περιοχές. Από αυτή την άποψη τα χαρακτηριστικά των νέων δορυφορικών αισθητήρων σχετικά με το χωρική διακριτική ικανότητα και τη χρονική συχνότητα για να παρέχουν τις συγκεκριμένες μεταβλητές βλάστησης, λειτουργικά, είναι ένα σημαντικό πλεονέκτημα.

Οι πρόσφατες δημοσιεύσεις σχετικά με τις μεθόδους εκτίμησης των βιοφυσικών ιδιοτήτων έδειξαν ότι οι περισσότερες τεχνικές αντίστροφης μεταφοράς της ακτινοβολίας είναι βασισμένες στη μέθοδο των νευρωνικών δικτύων. Εντούτοις, η αντιστροφή της ακτινοβολίας στα μοντέλα μεταφοράς είναι ένα σοβαρό πρόβλημα που μπορεί να προκαλέσει σημαντικές αβεβαιότητες στην εκτίμηση των βιοφυσικών μεταβλητών όταν χρησιμοποιούνται περιορισμένες πληροφορίες. Η βελτίωση της διαδικασίας αντιστροφής απαιτεί περισσότερες πληροφορίες που λαμβάνονται από τα μοντέλα, με τη χρησιμοποίηση των κατάλληλων προγενέστερων πληροφοριών για την κατανομή της κόμης καθώς και των μεταβλητών της ατμόσφαιρας, και γνώση των αβεβαιοτήτων των δορυφορικών μετρήσεων σύμφωνα με τους χωρικούς και χρονικούς περιορισμούς.

Συνήθως, οι στατιστικές προσεγγίσεις που βασίζονται στη χρήση δεικτών βλάστησης χρησιμοποιούν μόνο δύο ή τρία φασματικά κανάλια, εκτιμώντας ότι η ανάκτηση των παραμέτρων που βασίζεται στα μοντέλα ανάκλασης της κόμης μπορούν να χρησιμοποιήσουν όλα τα φασματικά στοιχεία που παρέχονται από τον αισθητήρα. Συνεπώς, είναι σημαντικό να επιλεχτεί ο κατάλληλος αλγόριθμος επειδή η αντιπροσώπευση των φασματικών ζωνών με την υψηλότερη ανάκλαση μπορεί να παραγάγει την ανάκτηση μόνο των μεταβλητών της κόμης που επηρεάζουν αυτά τα μήκη κύματος.

Υπάρχουν ακόμα πολλοί περιορισμοί για τη χρήση των δορυφορικών στοιχείων εικόνας στα καλλιεργητικά μοντέλα, όπως η έλλειψη καναλιών στο κοντινό IR, η μειωμένη διαθεσιμότητα των επί του σκάφους ικανοτήτων μετάδοσης αποθήκευσης στοιχείων, οι διαδικασίες βαθμολόγησης και επικύρωσης, οι ατμοσφαιρικές διορθώσεις, κ.λπ (Struzik et al., 2010).

2. ΔΙΑΘΕΣΙΜΟΤΗΤΑ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΚΑΙ Η ΔΙΑΚΡΙΤΙΚΗ ΤΟΥΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΣΤΟ ΧΡΟΝΟ ΚΑΙ ΣΤΟ ΧΩΡΟ, ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΤΗΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΤΗΤΑΣ ΣΤΗ ΓΕΩΡΓΙΑ

Σήμερα είναι διαθέσιμα στους χρήστες ελεύθερα μακροπρόθεσμα διαχρονικά αρχεία που εστιάζουν στα αρχικά φασματικά κανάλια των δορυφορικών αισθητήρων, χρήσιμα για αγροκλιματικές μελέτες. Σε ορισμένες περιπτώσεις απαιτείται μόνο η εγγραφή (Εικόνα 1). Φυσικά αυτός ο τύπος στοιχείων απευθύνεται στους πεπειραμένους χρήστες, που είναι σε θέση να εξετάσουν και να επεξεργασθούν περαιτέρω τα στοιχεία αυτά και να έχουν γνώσεις σχετικά με τα σχήματα και τις μεθόδους για την ανάκτηση π.χ. των δεικτών, που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τις μελέτες της βλάστησης και τη χρονική και χωρική μεταβλητότητά της. Εύκολα μπορεί κανείς να καταγράψει τα δημοφιλέστερα αρχεία που περιέχουν τις πληροφορίες που καταχωρούνται από τους δορυφορικούς αισθητήρες στα μεμονωμένα φασματικά κανάλια με μια ένδειξη του τύπου στοιχείων, της χρονικής κάλυψης και της γεωγραφικής περιοχής, που εστιάζουν στην Ευρώπη (Leeuwen, 2006; Ramirez et al., 2007; Struzik et al., 2010; WMO, 2009).

Για τους χρήστες που απαιτούν τους χαρακτηριστικούς δείκτες βλάστησης που ανακτώνται από τα δορυφορικά στοιχεία είναι πολύ ευκολότερο να χρησιμοποιηθούν τα επεξεργασμένα στοιχεία που συλλέγονται από τα διάφορα αρχεία. Η πρόσβαση στα αρχεία είναι διαθέσιμη μέσω του Διαδικτύου. Οι δείκτες που είναι σχετικοί με τον έλεγχο της βιόσφαιρας είναι βασισμένοι στα φασματικά κανάλια στο ορατό και κοντινό υπέρυθρο των δορυφορικών αισθητήρων όπως: AVHRR/NOAA, MODIS/Terra, Aqua, VGT/SPOT, MERIS/ENVISAT, SEVIRI/MSG και πολλά άλλα (Heute et al., 2004). Οι διαθέσιμοι δείκτες καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα των παραμέτρων όπως:

- Albedo και BRDF
- NDVI
- Δείκτης φυλλικής επιφανείας (LAI)
- FAPAR
- Ποσοστό βλάστησης
- Συνεχείς τομείς της κάλυψης βλάστησης
- Στοιχεία κάλυψης εδάφους
- Πυρκαγιά και καμένη περιοχή
- Ανωμαλίες βλάστησης
- Θερμικές ανωμαλίες
- Δείκτες υγείας βλάστησης (Vegetation Health Index)
- Τμήματα ισορροπίας ακτινοβολίας (Radiation Balance) και πολλά άλλα

Η πρόσβαση στα απαραίτητα δορυφορικά στοιχεία και τα προϊόντα είναι λιγότερο δύσκολη όταν εφαρμόζονται οι εξειδικευμένες μηχανές αναζήτησης και τα εργαλεία επιλογής. Οι διαχειριστές των μεμονωμένων αρχείων παρέχουν πολλά ενδιαφέροντα εργαλεία που επιτρέπουν:

- Επιλογή προϊόντων από το αρχείο
- Γεωγραφική επιλογή περιοχής
- Επιλογή χρονικού διαστήματος
- Παραγγελίες προϊόντων ή απευθείας σύνδεση σε περιοχή FTP για αποθήκευση
- Σε ορισμένες περιπτώσεις επίσης είναι διαθέσιμο το λογισμικό απεικόνισης

Τα παραπάνω αρχεία και τα εργαλεία δορυφορικών στοιχείων που βοηθούν και προάγουν τη χρήση τους παρουσιάζουν μεγάλη ποικιλία πληροφοριών και είναι ελεύθερα διαθέσιμα για τους χρήστες που θα επιθυμούσαν να μελετήσουν τις χρονικές και χωρικές αλλαγές της βλάστησης κατά τη διάρκεια των τελευταίων 10-30 ετών. Οι πληροφορίες επιτρέπουν την επιλογή μιας μεμονωμένης περιοχής ενδιαφέροντος που βρίσκεται οπουδήποτε στη γη και τον υπολογισμό ή και τη χρήση των διαθέσιμων επεξεργασμένων δεικτών που χαρακτηρίζουν την κατάσταση της βλάστησης ή των αγρομετεωρολογικών συνθηκών. Οι διαθέσιμες διακριτικές ικανότητες αρχίζουν από 250 μ (MODIS) και επεκτείνονται σε 16 χλμ (GAC NOAA).

Το σημαντικότερο χαρακτηριστικό γνώρισμα των μακροπρόθεσμων αρχείων είναι η δυνατότητα να συγκεντρωθούν και να διορθωθούν εύκολα οι ανωμαλίες και να υπολογισθούν οι τάσεις των υπό έρευνα παραμέτρων, οι οποίες επιτρέπουν τον προσδιορισμό των αλλαγών βιόσφαιρας στη μεμονωμένη περιοχή. Τέτοιες μελέτες παρέχουν την ευκαιρία να αναλυθούν οι πιθανές επιρροές της κλιματικής αλλαγής στη γεωργία.

3. ΚΛΙΜΑΤΙΚΕΣ ΚΑΙ ΒΙΟΦΥΣΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΚΑΙ ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ ΣΕ ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΕΠΙΠΕΔΟ

Επειδή η ποιότητα των φασματικών πληροφοριών εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά των αισθητήρων, η ανάπτυξη αισθητήρων είναι το κλειδί στις τεχνικές τηλεπισκόπησης. Η νέα γενιά των δορυφορικών αισθητήρων (π.χ. ο MODIS στην πλατφόρμα TERRA, ο VEGETATION στον SPOT, ο SEVIRI στον MSG, ο AVHRR-3 στον EPS/NOAA) έχει φέρει ένα αναβαθμισμένο επίπεδο τηλεπισκοπικών πληροφοριών στην κοινότητα χρηστών χάρις σε μια πολύ καλύτερη χωρική, χρονική, φασματική και γωνιακή δειγματοληψία της ακτινοβολίας που προέρχεται από την επιφάνεια της γης. Η χρονική διακριτική ικανότητα και η

σφαιρική κάλυψη που παρέχουν τα νέα όργανα, μαζί με την εκτενή δειγματοληψία και τις φασματικές και γωνιακές περιοχές, προετοιμάζουν το έδαφος για ένα ευρύ φάσμα νέων εφαρμογών, στις σχέσεις επιφάνειας-εδάφους και στις αλληλεπιδράσεις εδάφους - ατμόσφαιρας. Παραδείγματος χάριν τα στοιχεία SEVIRI/ METEOSAT χρησιμοποιούνται εκτενώς στον υπολογισμό κλιματικών και βιοφυσικών μεταβλητών. Ο MSG παρέχει εικόνες κάθε 15 λεπτά και προσφέρει νέες ευκαιρίες να ανιχνευθεί η βραχυπρόθεσμη εξέλιξη της βλάστησης. Τέτοιο χαρακτηριστικό γνώρισμα είναι ιδιαίτερα σημαντικό για τις περιοχές που χαρακτηρίζονται από υψηλή κάλυψη σύννεφων καθώς επίσης και για τα ημιάγονα οικοσυστήματα που έχουν σύντομους κύκλους βλάστησης. Αφ' ετέρου, η ημερήσια και υπο--ημερήσια δειγματοληψία των θερμικών υπογραφών από MSG, επιτρέπει την παρακολούθηση των κύκλων θερμοκρασίας της επιφάνειας του εδάφους. Η διαθεσιμότητα της υψηλής χρονικής διακριτικής ικανότητας του MSG ταιριάζει απόλυτα στη μέτρηση των περιβαλλοντικών παραμέτρων που αλλάζουν γρήγορα καθώς επίσης και σε εκείνες τις παραμέτρους όπου η αλλαγή σημάτων περιέχει πληροφορίες για την παράμετρο ή τη διαδικασία ενδιαφέροντος. Εντούτοις, τα χωρικά χαρακτηριστικά των αισθητήρων αφορούν κυρίως τα γεγονότα στις περιφερειακές έως ηπειρωτικές κλίμακες. Προς το παρόν η τηλεπισκόπηση περιορίζεται στη χαρτογράφηση της παραγωγής με ελαφρώς υψηλότερη ακρίβεια από 90% όταν χρησιμοποιείται σε συνδυασμό η διαχρονική κάλυψη, η χρήση πολλών αισθητήρων και στοιχεία GIS. Η τηλεπισκόπηση μόνο, όμως έχει περιορισμούς στη διάκριση των πολλαπλών καλλιεργειών σε αυτό το επίπεδο ακρίβειας. Η τηλεπισκόπηση είναι επίσης συχνά ανίκανη να ανιχνεύσει τις άμεσες πηγές ζημίας των καλλιεργειών. Αυτοί οι περιορισμοί μπορούν να μειωθούν στο μέλλον καθώς αυξάνονται οι χωρικές και φασματικές διακριτικές ικανότητες.

Οι Toulios et al. (2008) έχουν καταγράψει τις κλιματικές και βιοφυσικές παραμέτρους που σήμερα εκτιμώνται μέσω της δορυφορικής τηλεπισκόπησης σε τουλάχιστον μία χώρα στην Ευρώπη, καθώς και τους τύπος των δορυφόρων και των αισθητήρων καταγραφής σε σχέση με κάθε μεταβλητή που χρησιμοποιούνται στις χώρες της Ευρώπης όπου γίνεται εκτίμησή τους.

4. ΝΕΩΤΕΡΕΣ ΠΡΟΚΛΗΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΩΝ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ ΣΤΗΝ ΑΓΡΟΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑ

Οι λειτουργικές εφαρμογές των δεδομένων της τηλεπισκόπησης στην αγρομετεωρολογία απαιτούν σήμερα νέες προσεγγίσεις στη συλλογή και την ανάλυση. Υπάρχουν αρκετές πλατφόρμες αυτήν την περίοδο στο διάστημα για να συλλέγουν καθημερινά στοιχεία υψηλής χωρικής ανάλυσης 30m για όλη την Ευρώπη. Εντούτοις η συλλογή τέτοιων στοιχείων απαιτεί συντονισμένη προσπάθεια και φυσικά χρηματοδότηση. Η επίδραση της νεφοκάλυψης σε μερικές περιοχές της Ευρώπης που είναι πάρα πολύ νεφελώδεις (ελεύθερη συχνότητα σύννεφων <14%) πρέπει να υπολογισθεί με ακρίβεια ώστε να επιτρέψουν τις εβδομαδιαίες παρατηρήσεις. Η συχνότητα απουσίας σύννεφων μπορεί να είναι εποχιακά εξαρτώμενη για μερικές περιοχές, αλλά υπάρχουν λίγες πληροφορίες για αυτό από την άποψη της τηλεπισκόπησης.

Για τη λειτουργική αφομοίωση των δορυφορικών δεδομένων εικόνας στα μοντέλα υπάρχουν σήμερα μερικές νέες προσεγγίσεις για τη συλλογή και την ανάλυση δεδομένων. Η πιο ελπιδοφόρος λύση φαίνεται να είναι η συνένωση (ο αστερισμός) ίδιων δορυφόρων στην ίδια τροχιά και η διαθεσιμότητα της τεχνολογίας μικρών δορυφόρων που μπορούν να κατασκευασθούν και να εκτοξευθούν με σχετικά χαμηλότερο κόστος, όπως ο αστερισμός DMC, που ανοίγει τη δυνατότητα για την ανάπτυξη ενός ευρωπαϊκού αστερισμού «AgriSatellite». Στα τρέχοντα συστήματα DMC λείπουν περιοχές παρατήρησης στην μικροκυματική υπέρυθρη περιοχή (SWIR), οι οποίες είναι σημαντικές για τον έλεγχο της υγρασίας των καλλιεργειών και επιπλέον έχουν περιορισμένες ικανότητες μετάδοσης αποθήκευσης και στοιχείων. Αυτοί οι τεχνικοί περιορισμοί θα υπερνικηθούν τα επόμενα χρόνια και όταν συνδεθούν τα στοιχεία από τέτοιους αστερισμούς με τις προσεκτικά προγραμματισμένες και εκτελεσμένες δραστηριότητες βαθμολόγησης και επικύρωσης, θα επιτευχθεί πλήρως το μέγιστο των δυνατοτήτων της τηλεπισκόπησης στο αγρο-μετεωρολογία και σε ένα ευρύ φάσμα άλλων τομέων στην Ευρώπη. Οι μεγάλες προσδοκίες για τη βελτίωση της αφομοίωσης στοιχείων τηλεπισκόπησης στα καλλιεργητικά μοντέλα αφορούν τις μελλοντικές προσφορές των δορυφόρων και των αισθητήρων με την υψηλή χωρική και χρονική ανάλυση (π.χ. GMES, Sentinel 2, κ.λπ.) (Danson and Toulios; 2010 Mackin et al., 2010).

5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Danson F.M. and L. Toulios, 2010. Challenges for the operational application of satellite image data in agrometeorology. In 'Satellite data availability, methods and challenges for the assessment of climate change and variability impacts on agriculture', TOULIOS L. and G. STANCALIE, editors, © COST Office, ESF. Formal publisher: Emm. Lavdakis O.E. publishers, Larissa, Greece, p 105-113.

Huete A.R., Didan, K., Miura, T., Rodriguez, E.P., Gao, X. and Ferreira, L.G., 2004. Overview of the radiometric and biophysical performance of

the MODIS vegetation indices. Remote Sens. Environ. 83, 195-213.

Leeuwen W., Orr, B.J., Marsh, S.E. and Herrmann, S.M., 2006. Multisensor NDVI data continuity: uncertainties and implications for vegetation monitoring applications. Remote Sens. Environ. 100, 67-81.

Mackin S., Stephens, P. and Crowley, G., 2010. Radiometric and data quality characteristics of the 2nd generation Disaster Monitoring Constellation (DMC) satellites. Proceeding of the Annual Conference of remote Sensing and Photogrammetry Society, Cork, Ireland, 1-3 September 2010.

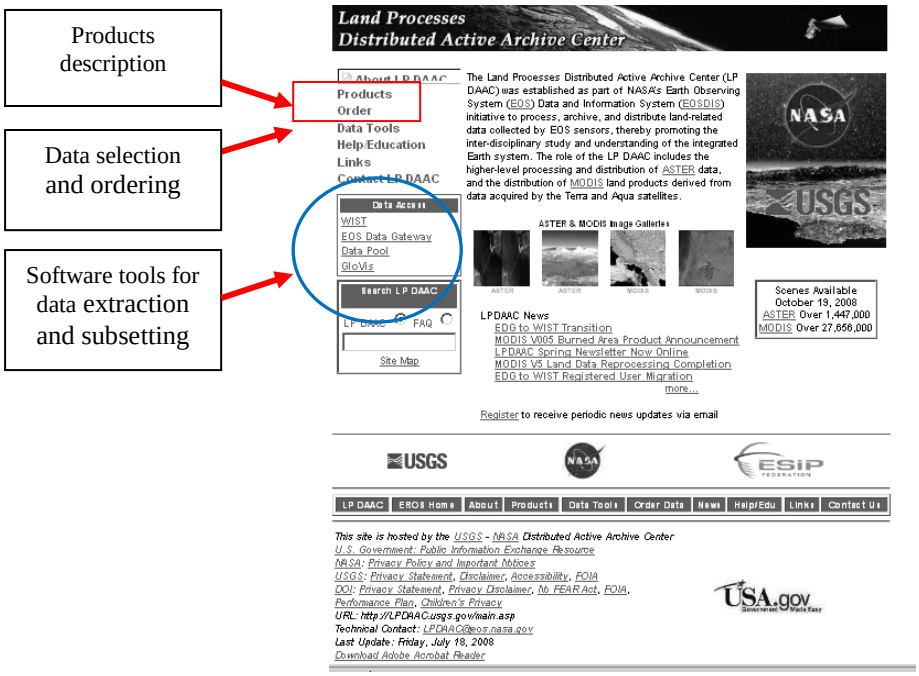
Ramirez A., Armitage, R.P., Danson, F.M., Marston, C.G., Ogunbadewa, E.Y. and Yebra, M., 2007. Web-based model for analysis of time series remotely sensed data. 10th Intl. Symposium on Physical Measurements and Signatures in Remote Sensing, Davos, 12-14th March 2007.

Struzik, P., G. Stancalie, F. M.. Danson, L. Toulios, Z. Dunkel and E. Tsiros, 2010. Study of satellite data availability and their resolution in time and space, for the assessment of climate change and variability impacts on agriculture. In 'Satellite data availability, methods and challenges for the assessment of climate change and variability impacts on agriculture', TOULIOS L. and G. STANCALIE, editors, © COST Office, ESF. Formal publisher: Emm. Lavdakis OE. publishers, Larissa, Greece, p 3-28.

Toulios, L., G. Stancalie, P. Struzik, M. Danson, J. Mika, Z. Dunkel and E. Tsiros, 2008. 'Satellite spectral climatic and biophysical data for warning purposes for European agriculture'. In 'Survey of agrometeorological practices and applications in Europe regarding climate change impacts', Nejedlik and Orlandini, editors, COST 734, ESF, pp163-203.

Toulios L. and G. Stancalie, editors, 2010. SATELLITE DATA AVAILABILITY, METHODS AND CHALLENGES FOR THE ASSESSMENT OF CLIMATE CHANGE AND VARIABILITY IMPACTS ON AGRICULTURE. © COST Office, 2010. COST Action 734. Formal publisher: Emm. Lavdakis O.E. publishers, Larissa, Greece, p 137.

WMO, 2009. Implementation Plan for the Global Observing System for Climate in Support of the UNFCCC,(http://www.wmo.int/pages/prog/gcos/documents/GCOSIP-10_DRAFTv1.0 131109.pdf).



Εικόνα 1: Παράδειγμα διαθεσιμότητας δορυφορικών στοιχείων / Example of web archive interface (LP-DAAC)

8^{Ο} ΕΘΝΙΚΟ ΣΥΝΕΔΡΙΟ ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ

ΑΓΡΟΤΙΚΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑΣ ΑΓΡΟΤΙΚΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΣΤΗΝ ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΗΣ ΘΕΣΗΣ ΜΙΚΡΗΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ ΒΑΣΕΙ ΔΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟΥ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

Ιωάννης Ι. Βογιατζής[1,2], Βασίλειος Π. Φράγκος[1], Γεώργιος Κ. Ντίνας[1,3], Γεράσιμος Γ. Μαρτζόπουλος[1]
[1]Τομέας Εγγείων Βελτιώσεων, Εδαφολογίας και Γεωργικής Μηχανικής, Γεωπονική Σχολή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 54124, Θεσσαλονίκη
[2]Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Πολυτεχνική Σχολή, Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης, 67100, Ξάνθη
[3]INRA, UMR INRA - AGROPARISTECH Environment & Arable Crops, 78850, Thiverval-Grignon, France

Οι μικρής-κλίμακας ανεμογεννήτριες ανήκουν στα χαμηλού κόστους συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και θεωρείται ότι θα μπορούσαν να ικανοποιήσουν τις ενεργειακές ανάγκες των αγροτικών εγκαταστάσεων. Κατά συνέπεια, το πεδίο ροής αέρα γύρω από τις αγροτικές κατασκευές παίζει κρίσιμο ρόλο στην επιλογή της βέλτιστης θέσης και της τελικής ενεργειακής απόδοσης των ανεμογεννητριών, λαμβάνοντας υπόψη την ένταση της τύρβης σε μια συγκεκριμένη τοποθεσία. Η παρούσα εργασία παρουσιάζει μια αριθμητική προσομοίωση των χαρακτηριστικών της δισδιάστατης (2D) ροής αέρα γύρω από μια συγκεκριμένη γεωμετρική κατασκευή, σε ένα επίπεδο εγκάρσια στον άξονα της, υπολογίζοντας τα στιγμιαία μεγέθη της ροής με την άμεση επίλυση των εξισώσεων Navier-Stokes και συνέχειας, χρησιμοποιώντας τη μέθοδο πεπερασμένων στοιχείων Galerkin. Το μέτρο και η διεύθυνση της ταχύτητας του ανέμου στην είσοδο του υπολογιστικού πεδίου λαμβάνονται σταθερά. Τα αποτελέσματα δείχνουν πώς τα χαρακτηριστικά της ροής αέρα εξαρτώνται έντονα από το γεωμετρικό προφίλ της κατασκευής και εξάγονται συμπεράσματα αναφορικά με την ενεργειακή απόδοση της ανεμογεννήτριας σε σχέση με τον τύπο και τη θέση εγκατάστασής της.

Λέξεις κλειδιά: άμεση αριθμητική προσομοίωση, ανανεώσιμη ενέργεια, μικρές ανεμογεννήτριες, αγροτικές κατασκευές

EFFECT OF RURAL CONSTRUCTION GEOMETRY IN SELECTING THE LOCATION FOR SMALL WIND TURBINE ON THE BASIS OF TWO DIMENSIONAL NUMERICAL MODEL

Ioannis I. Vogiatzis[1,2], Vasileios P. Fragos[1], Georgios K. Ntinas[1,3], Gerasimos G. Martzopoulos[1]
[1]Department of Hydraulics, Soil Science and Agricultural Engineering, School of Agriculture, Aristotle University of Thessaloniki, 54124, Thessaloniki
[2]Department of Electrical and Computer Engineering, Polytechnic School, Democritus University of Thrace, 67100, Xanthi
[3]INRA, UMR INRA - AGROPARISTECH Environment & Arable Crops, 78850, Thiverval-Grignon, France
ivogiatz@gmail.com, fragos@agro.auth.gr, georgiosntinas@gmail.com, martzopo@agro.auth.gr

Micro-wind turbines are low cost renewable energy devices that could meet the energy needs of agricultural constructions. Thus, the wind flow field around the constructions taking into account the wind speed and turbulence intensity fields in a given location plays a crucial role in the optimum placement selection and final energy yield of the wind turbines. This paper presents a numerical study of the characteristics of a two-dimensional (2D) wind flow around a specific geometric construction estimating the transient flow magnitudes by solving directly the Navier-Stokes and continuity equations, using the Galerkin finite element method. The modulus and direction of the wind velocity at the entrance of the computational domain are taken to be constant. Results show how the wind flow characteristics are strongly dependent on the geometrical profile of the construction and conclusions are drawn regarding the energy yield being dependent both on the position and the type of wind turbine used.

Keywords: direct numerical simulation, renewable energy, small wind turbines, rural constructions

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σήμερα, η αιολική ενέργεια βρίσκει εφαρμογή κυρίως στην ηλεκτροπαραγωγή. Αυτό επιτυγχάνεται με τις ανεμογεννήτριες οι οποίες μετατρέπουν αρχικά την κινητική ενέργεια του ανέμου σε μηχανική και στη συνέχεια τη μηχανική σε ηλεκτρική.

Εκτός από τα αιολικά πάρκα που αποτελούνται από συστοιχίες πολλών, μεγάλων ανεμογεννητριών (800kW – 6MW) και τροφοδοτούν απευθείας το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας, μπορεί να γίνει εγκατάσταση και μικρών ανεμογεννητριών για εφαρμογές μικρής κλίμακας, κυρίως για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών απομονωμένων καταναλωτών, όπως είναι π.χ. των αγροτικών κατασκευών.

Η χρήση μικρών ανεμογεννητριών (400W μέχρι 10kW) συνιστάται σε μη αστικές περιοχές. Η εγκατάσταση τους απαιτεί μια ελεύθερη έκταση γύρω από αυτές, χωρίς εμπόδια που να επηρεάζουν την έκθεση τους στον άνεμο, έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η αποδοτική λειτουργία τους.

Οι μικρές ανεμογεννήτριες χωρίζονται σε κάθετου (Vertical Axis Wind Turbines, VAWT) και οριζόντιου (Horizontal Axis Wind Turbines, HAWT) άξονα ανάλογα με τον προσανατολισμό του άξονα περιστροφής τους, με τις δεύτερες να είναι οι πιο συνηθισμένες (Shikha Bhatti and Kothari, 2005). Η

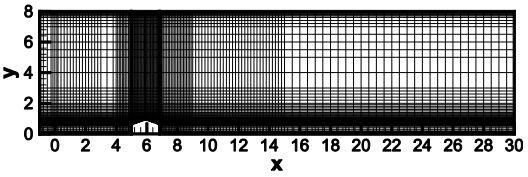
κύρια διαφορά τους είναι ότι οι κάθετου άξονα έχουν την ικανότητα να δέχονται τον άνεμο από οποιαδήποτε κατεύθυνση, γι' αυτό ονομάζονται και γυροσκοπικές (omni-directional). Αυτό έχει μερικά πλεονεκτήματα, όπως η μη απαίτηση συστήματος αλλαγής προσανατολισμού το οποίο αυξάνει το κόστος εγκατάστασης, λειτουργίας και συντήρησης. Επιπλέον, οι γυροσκοπικές ανεμογεννήτριες δεν παρουσιάζουν απώλειες ισχύος κατά τη διάρκεια της αλλαγής της διεύθυνσης του ανέμου ή κατά τη διάρκεια βραχέων ριπών του ανέμου οι οποίες συνοδεύονται από αλλαγές στη διεύθυνσή του (Roynarin et al., 2002). Συνεπώς, μια γυροσκοπική ανεμογεννήτρια μπορεί να εγκατασταθεί σε μέρη όπου η ροή του ανέμου είναι τυρβώδης και η διεύθυνσή της αλλάζει συνεχώς. Γι' αυτό το λόγο η κάθετου άξονα ανεμογεννήτριες πλεονεκτούν σε σχέση με τις οριζοντίου άξονα σε περιοχές μεγάλου υψομέτρου, σε περιοχές με πολύ ισχυρούς ή θυελλώδεις ανέμους και σε αστικές περιοχές (Riegler, 2003). Έρευνες έχουν δείξει σαφές πλεονέκτημα των VAWTs στις στέγες (Mertens, 2003). Επιπρόσθετα, οι κάθετου άξονα είναι λιγότερο θορυβώδεις και ως εκ τούτου είναι καταλληλότερες για εγκατάσταση σε αστικές περιοχές (Riegler, 2003).

Από τα παραπάνω γίνεται κατανοητό ότι το είδος της ροής του ανέμου, αν είναι τυρβώδης ή στρωτή, καθώς επίσης και η ταχύτητα και κατ' επέκταση η κινητική του ενέργεια διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στην απόδοση μιας μικρής ανεμογεννήτριας ανεξάρτητα του τύπου της. Κατά συνέπεια, η "χαρτογράφηση" μιας περιοχής όσο αφορά το αιολικό δυναμικό της και πώς αυτό επηρεάζεται από τα φυσικά ή/και τα τεχνητά εμπόδια, αποτελεί απαραίτητη προϋπόθεση για τη βέλτιστη επιλογή της θέσης μιας μικρής ανεμογεννήτριας. Το συγκεκριμένο επιστημονικό πεδίο έχει μελετηθεί από έναν αριθμό εργασιών θεωρητικά, πειραματικά και υπολογιστικά (Mertens, 2003; Heath et al., 2007; Watson et al., 2007; Sunderland and Conlon, 2010; Ledo et al., 2011; Milanese et al., 2011; Ntinas et al., 2011; Walker, 2011; Ayhan and Saglam, 2012; Abohela et al., 2013).

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκε υπολογιστικά με τη βοήθεια μαθηματικού μοντέλου προσομοίωσης σε κώδικα Fortran (Fragos et al., 2007, 2012) η δισδιάστατη ροή ανέμου γύρω από μια αμφίρρικτη κατασκευή. Για την αποτίμηση της βέλτιστης θέσης τοποθέτησης μιας μικρής ανεμογεννήτριας και την αποφυγή των περιοχών τυρβώδους ροής υπολογίσθηκαν, για όλο το υπολογιστικό πεδίο, οι τυρβώδεις εντάσεις της οριζόντιας και κάθετης ροής του ανέμου, η τυρβώδης κινητική ενέργεια καθώς και η συνισταμένη μέση ταχύτητα.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Στην παρούσα εργασία ο άνεμος θεωρείται ότι είναι ασυμπίεστο ρευστό σταθερού ιξώδους και πυκνότητας. Για την επίλυση του συστήματος των αδιάστατων μη-γραμμικών μερικών διαφορικών εξισώσεων (εξισώσεις Navier-Stokes και συνέχειας), που περιγράφουν την κίνηση αυτού του ρευστού χρησιμοποιείται η μέθοδος πεπερασμένων στοιχείων Galerkin (Gresho and Sani, 2000; Zienkiewicz et al., 2005). Ως οριακή συνθήκη ανάντη της εισόδου του υπολογιστικού πεδίου τίθεται οριζόντια ομοιόμορφη ελεύθερη ροή ρευστού. Στα τοιχώματα του υπολογιστικού πεδίου και γύρω από την επιφάνεια της αμφίρρικτης κατασκευής τίθενται συνθήκες μη ολισθήσεως όπου το ρευστό έχει μηδενική ταχύτητα. Η οριακή συνθήκη εξόδου είναι ελεύθερη με αποτέλεσμα το ρευστό να εξέρχεται του υπολογιστικού πεδίου χωρίς να υπόκειται σε διαταραχή. Το υπολογιστικό πλέγμα που χρησιμοποιήθηκε φαίνεται στην Εικόνα 1.



Εικόνα 1. Το υπολογιστικό πλέγμα που χρησιμοποιήθηκε για τη δισδιάστατη προσομοίωση της ροής του ανέμου κατά μήκος της εγκάρσιας τομής της αμφίρρικτης κατασκευής.

Για τον υπολογισμό των μέσων τιμών χρησιμοποιήθηκε η σχέση,

$$\langle X \rangle = \frac{1}{T_n} \int_0^t X dt$$

με τις στιγμιαίες μεταβλητές της ροής, X, να έχουν ληφθεί από την άμεση επίλυση των εξισώσεων Navier-Stokes και συνέχειας,

$$\frac{\vartheta U_i}{\vartheta t} + U_j \frac{\vartheta U_i}{\vartheta \omega_j} = -\frac{\vartheta P}{\vartheta \omega_i} + \frac{1}{Re} \frac{\vartheta^2 U_i}{\vartheta \omega_j \vartheta \omega_j}$$

και

$$\frac{\vartheta U_i}{\vartheta \omega_i} = 0$$

όπου χρησιμοποιήθηκε τανυστικός συμβολισμός ενώ τα i, j είναι πλασματικοί δείκτες οι οποίοι λαμβάνουν τιμές 1, 2 οι οποίες αντιπροσωπεύουν αντίστοιχα τις συντεταγμένες x, y. U_i είναι οι στιγμιαίες συνιστώσες του διανύσματος ταχύτητας, P είναι η πίεση και Re είναι ο αριθμός Reynolds. T_n είναι ο συνολικός χρόνος, ο οποίος για τη συγκεκριμένη προσομοίωση είναι 150 αδιάστατες χρονικές μονάδες. Η τυρβώδης οριζόντια ταχύτητα U_1' και η αντίστοιχη εγκάρσια ταχύτητα U_2' υπολογίζονται αναλύοντας τις στιγμιαίες ταχύτητες σε αθροίσματα μέσων και διακυμαινόμενων ταχυτήτων,

$$U_1' = U_1 - \langle U_1 \rangle$$

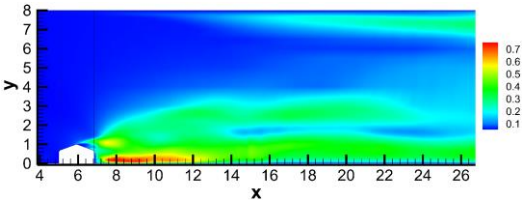
$$U_2' = U_2 - \langle U_2 \rangle$$

Οι υπολογισμοί έχουν πραγματοποιηθεί για $Re = 1000$.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

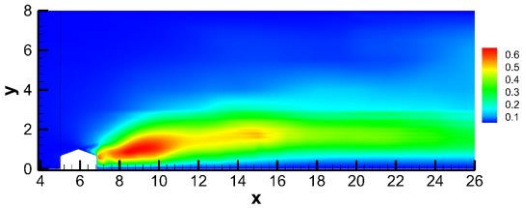
3.1. Τυρβώδεις εντάσεις

Τα μεγέθη της οριζόντιας και κάθετης τυρβώδους έντασης, $\sqrt{\langle U_1'^2 \rangle}$ και $\sqrt{\langle U_2'^2 \rangle}$ φαίνονται στις Εικόνες 2 και 3, αντίστοιχα, χρωματικά κωδικοποιημένα. Η οριζόντια τυρβώδης ένταση μεγιστοποιείται κατάντη της κατασκευής κοντά στο επίπεδο της βάσης έχοντας ένα εύρος 2.5 περίπου φορές το πλάτος της κατασκευής.



Εικόνα 2. Χρωματική απεικόνιση της οριζόντιας τυρβώδους έντασης.

Όμοια προς την παράλληλη, η εγκάρσια τυρβώδης ένταση επίσης μεγιστοποιείται κατάντη της κατασκευής, ωστόσο, οι μέγιστες τιμές της καταλαμβάνουν μεγαλύτερη έκταση τόσο κατά την οριζόντια όσο και κατά την κάθετη διεύθυνση.



Εικόνα 3. Χρωματική απεικόνιση της εγκάρσιας τυρβώδους έντασης.

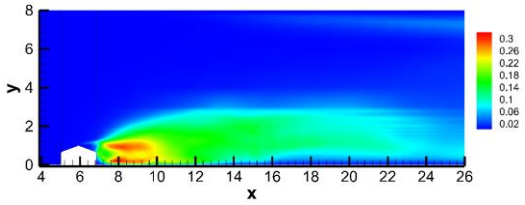
Από την Εικόνα 3 είναι φανερό ότι το εύρος αυτής της έκτασης είναι 4.5 περίπου φορές το πλάτος της κατασκευής κατά την οριζόντια διεύθυνση και 1.5 περίπου φορές το ύψος της κατασκευής κατά την κάθετη διεύθυνση.

3.2. Τυρβώδης κινητική ενέργεια

Η τυρβώδης κινητική ενέργεια (TKE) δίνεται από τη σχέση,

$$k = \frac{1}{2}\left(\langle U_1'^2 \rangle + \langle U_2'^2 \rangle\right)$$

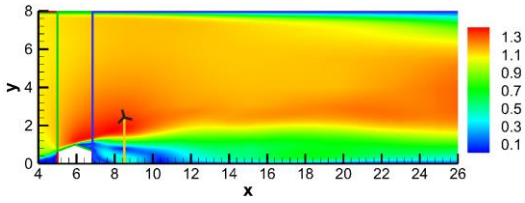
και είναι άμεσα συνδεδεμένη με τις μετρούμενες τυρβώδεις εντάσεις. Κατά συνέπεια, όπως είναι φανερό στην Εικόνα 4, η τυρβώδης κινητική ενέργεια είναι ουσιαστικά η υπέρθεση των Εικόνων 2 και 3.



Εικόνα 4. Χρωματική απεικόνιση της τυρβώδους κινητικής ενέργειας.

3.3. Πεδίο συνιστάμενης μέσης ταχύτητας

Η Εικόνα 5 παρουσιάζει τη συνισταμένη της μέσης οριζόντιας και κάθετης ταχύτητας. Όπως είναι φανερό, κατάντη της κατασκευής όπου έχουμε μέγιστες τυρβώδεις εντάσεις και επομένως ισχυρή τύρβη η συνιστάμενη μέση ταχύτητα ροής η οποία χαρακτηρίζει τη στρωτή ροή, λαμβάνει τις μικρότερες τιμές. Αντίθετα, μέγιστες τιμές παρατηρούνται σε σημεία σχετικά απομακρυσμένα από την οροφή της αμφίρρικτης κατασκευής.



Εικόνα 5. Χρωματική απεικόνιση της συνιστάμενης μέσης ταχύτητας $\sqrt{\langle U_1 \rangle^2 + \langle U_2 \rangle^2}$.

3.4. Κατανομές συχνότητας-ταχύτητας

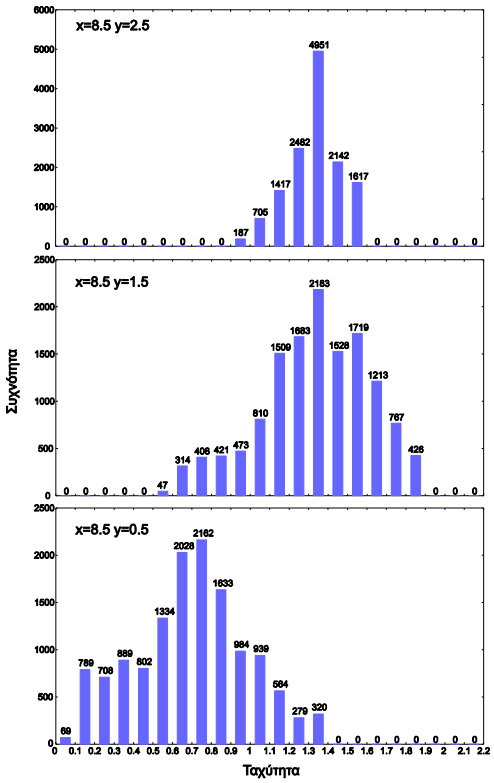
Για τη βέλτιστη επιλογή της θέσης της μικρής ανεμογεννήτριας, ώστε να επιτυγχάνεται η μεγαλύτερη δυνατή εκμετάλλευση του αιολικού δυναμικού και η μέγιστη δυνατή λειτουργική διάρκεια του χρησιμοποιούμενου μηχανολογικού εξοπλισμού, θα πρέπει να ικανοποιούνται δύο σημαντικά κριτήρια: (α) το σημείο έκθεσης της ανεμογεννήτριας να μην χαρακτηρίζεται από ισχυρές τυρβώδεις ροές στις οποίες οφείλεται η εμφάνιση ισχυρών μεταβαλλόμενων φορτίων που μπορούν να οδηγήσουν σε γήρανση του εξοπλισμού και (β) το συγκεκριμένο σημείο να έχει τη μεγαλύτερη, κατά το δυνατόν, συχνότητα εμφάνισης μέγιστων επιθυμητών ταχυτήτων στρωτής ροής ανέμου οι οποίες προσδιορίζουν και το ενεργειακό δυναμικό του.

Στο Διάγραμμα 1 φαίνονται οι κατανομές της συχνότητας εμφάνισης διαφόρων τιμών της στιγμιαίας συνιστάμενης ταχύτητας σε τρία διαφορετικά σημεία του υπολογιστικού πεδίου. Είναι φανερό ότι τα καταλληλότερα σημεία εγκατάστασης είναι τα x=8.5, y=1.5 και x=8.5, y=2.5. Συγκρίνοντας τις κατανομές των δύο αυτών σημείων παρατηρούμε ότι ενώ στη θέση x=8.5, y=1.5 καταγράφονται μεγαλύτερες στιγμιαίες ταχύτητες ανέμου U αυτή κρίνεται ως ακατάλληλη δεδομένου ότι βρίσκεται στο όριο της περιοχής όπου μεγιστοποιείται η τυρβώδης κινητική ενέργεια (βλ. Εικόνα 4). Εξετάζοντας τις Εικόνες 4 και 5 γίνεται κατανοητό ότι η θέση x=8.5, y=2.5 είναι η πλέον κατάλληλη εκ των τριών που

εξετάζουμε δεδομένου ότι βρίσκεται εκτός της περιοχής τυρβώδους ροής σε σημείο όπου η συνιστάμενη μέση ταχύτητα μεγιστοποιείται. Στην Εικόνα 5 φαίνεται σχηματικά η μικρή ανεμογεννήτρια για τη βέλτιστη θέση τοποθέτησης x=8.5, y=2.5.

4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Το ποσό της ισχύος, P, που μπορεί να απορροφηθεί από μία ανεμογεννήτρια υπολογίζεται από τη σχέση,



Διάγραμμα 1. Κατανομές της συχνότητας εμφάνισης διαφόρων τιμών της στιγμιαίας συνιστάμενης ταχύτητας σε τρία διαφορετικά σημεία του υπολογιστικού πεδίου.

$$P = \frac{1}{2} C_P \rho A \upsilon^3$$

όπου C_P είναι ο συντελεστής ισχύος, ρ είναι η πυκνότητα του αέρα, A είναι το εμβαδόν σάρωσης της ανεμογεννήτριας και υ η ταχύτητα του ανέμου. Ο συντελεστής ισχύος αντιπροσωπεύει την αεροδυναμική απόδοση της ανεμογεννήτριας δίνοντας ένα μέτρο του πόση από την ισχύ του ανέμου μπορεί να απορροφηθεί από την ανεμογεννήτρια και είναι συνάρτηση του λόγου των ταχυτήτων, λ, στην άκρη των πτερυγίων,

$$\lambda = \frac{\omega R}{\upsilon}$$

όπου ω είναι η γωνιακή ταχύτητα της ανεμογεννήτριας, R η ακτίνα της και υ η ταχύτητα του ανέμου. Ο θεωρητικά μέγιστος συντελεστής ισχύος καλείται όριο Betz και για μια ιδανική ανεμογεννήτρια έχει την τιμή 0.59 (Eriksson, 2008).

Κατά συνέπεια, η ταχύτητα του ανέμου και κατ' επέκταση η ποιότητα του αιολικού δυναμικού των υποψηφίων περιοχών εγκατάστασης (χαμηλά επίπεδα τυρβώδους ροής, μικρή συχνότητα εμφάνισης ριπών ανέμου, χαμηλές μέγιστες ταχύτητες ανέμου), αποτελεί κρίσιμη παράμετρο για την μακρόχρονη και παράλληλα αποδοτική λειτουργία μιας μικρής ανεμογεννήτριας. Για την παρούσα μελέτη ενδεικτικά αναφέρουμε ότι αν η υπό εξέταση αμφίρρικτη κατασκευή έχει ύψος 4m και πλάτος 6m, τότε η βάση στήριξης της ανεμογεννήτριας θα πρέπει να έχει ύψος γύρω στα 4x2.5=10m και να είναι τοποθετημένη γύρω στα 6x(4.3/4.5)=5.7m κατάντη της κατασκευής, λαμβάνοντας υπόψη ότι στο υπολογιστικό πεδίο το ύψος και το πλάτος της κατασκευής ισούνται με 1 και 4.5 (αδιάστατες ποσότητες), αντίστοιχα. Σ' αυτό το ύψος εγκατάστασης και για εκμεταλλεύσιμο αιολικό δυναμικό με μέση ταχύτητα ανέμου της τάξεως των 6.5m/sec, η οριζόντια ταχύτητα (η κάθετη λαμβάνεται ίση με μηδέν) στην είσοδο του υπολογιστικού μας πεδίου θα πρέπει να έχει μια τιμή γύρω στα 6.5/1.3=5m/sec. Από την προσομοίωση είναι φανερό ότι η παρουσία της αμφίρρικτης κατασκευής προκαλεί το φαινόμενο επιτάχυνσης του ανέμου (wind speed-up effect) αυξάνοντας τη συνιστάμενη μέση ταχύτητα του ανέμου γύρω από το συγκεκριμένο σημείο έκθεσης της ανεμογεννήτριας κατά ένα συντελεστή 1.3-1.4.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκε η δισδιάστατη ροή αέρα γύρω από μια αμφίρρικτη κατασκευή με τη βοήθεια της άμεσης αριθμητικής επίλυσης των εξισώσεων Navier-Stokes και συνέχειας. Η δυνατότητα προσομοίωσης των χαρακτηριστικών της ροής και υπολογισμού αντιπροσωπευτικών φυσικών ποσοτήτων μας έδωσε τη δυνατότητα καθορισμού της βέλτιστης θέσης εγκατάστασης μικρής ανεμογεννήτριας ανάμεσα στις τρεις υποψήφιες θέσεις που εξετάσθηκαν. Επιπρόσθετα, εκτός από τον καθορισμό της βέλτιστης θέσης, οι πληροφορίες που ελήφθησαν από την προσομοίωση βοηθούν στο να καθοριστούν επιπλέον σημαντικά στοιχεία που συνάδουν με τη συγκεκριμένη θέση εγκατάστασης, όπως είναι η ονομαστική ισχύς της ανεμογεννήτριας και ο τύπος της.

Η μέθοδος υπολογιστικής ρευστοδυναμικής που χρησιμοποιήθηκε μπορεί να εφαρμοστεί και στις περιπτώσεις όπου έχουμε συνδυασμό δισδιάστατων ή και τρισδιάστατων κατασκευών/εμποδίων διαφόρων γεωμετριών. Επίσης, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εργαλείο προσεγγιστικής αποτίμησης της ποιότητας του αιολικού δυναμικού υποψήφιων περιοχών εγκατάστασης παρουσία φυσικών ή/και τεχνητών εμποδίων και των παραγόντων που μπορεί να επηρεάσουν την απόδοση μιας μικρής ανεμογεννήτριας. Ωστόσο, για πιο αξιόπιστα συμπεράσματα καλό θα είναι οι

προσομοιώσεις να συνδυάζονται πάντα με επιτόπιες μετρήσεις.

Τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης καταδεικνύουν επίσης το γεγονός ότι η εγκατάσταση μικρών ανεμογεννητριών πλησίον απομονωμένων αγροτικών κατασκευών, όπου η πιθανότητα ύπαρξης λοιπών εμποδίων είναι μικρή και κατά συνέπεια το αιολικό δυναμικό είναι καλύτερης ποιότητας, μπορεί να αποτελέσει μια αειφόρο πρακτική για την κάλυψη των αναγκών τους σε ενέργεια.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Περιοδικά

Abohela, I., Hamza, N., Dudek, S., 2013. Effect of roof shape, wind direction, building height and urban configuration on the energy yield and positioning of roof mounted wind turbines. Renewable Energy, 50:1106-1118.

Ayhan, D., Saglam, S., 2012. A technical review of building-mounted wind power systems and a sample simulation model. Renewable and Sustainable Energy, 16:1040-1049.

Eriksson, S., Bernhoff, H., Leijon, M., 2008. Evaluation of different turbine concepts for wind power. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 12:1419-1434.

Fragos, V. P., Psychoudaki, S. P., Malamataris, N. A., 2007. Direct simulation of two-dimensional turbulent flow over a surface-mounted obstacle. Int. J. Numer. Meth. Fluids, 55:985-1018.

Fragos, V. P., Psychoudaki, S. P., Malamataris, N. A., 2012. Two dimensional numerical simulation of vortex shedding and flapping motion of turbulent flow around a rib. Computers & Fluids, 69:108-121.

Heath, M. A., Walshe, J. D., Watson, S. J., 2007. Estimating the Potential Yield of Small Building-mounted Wind Turbines. Wind Energy, 10:271-287.

Ledo, L., Kosasih, P. B., Cooper, P., 2011. Roof mounting site analysis for micro-wind turbines. Renewable Energy, 36:1379-1391.

Mertens, S., 2003. The energy yield of roof mounted wind turbines. Wind Eng., 27(6):507-18.

Riegler, H., 2003. HAWT versus VAWT: small VAWTs find a clear niche. Refocus, 4(4):44-46.

Shikha Bhatti, T.S., Kothari, D.P., 2005. Early development of modern vertical and horizontal axis wind turbines: a review. Wind Eng., 29(3):287-299.

Walker, S. L., 2011. Building mounted wind turbines and their suitability for the urban scale - A review of methods of estimating urban wind resource. Energy and Buildings, 43:1852-1862.

Κεφάλαια βιβλίων

Gresho, P. M., Sani, R. L., 2000. Incompressible flow and the finite element method, Wiley.

Zienkiewicz, O.C., Taylor, R. L., Zhu, J. Z., 2005. The finite element method: Its basis and fundamentals, 6th ed., Butterworth-Heinemann.

Πρακτικά Συνεδρίων

Milanese, M., de Risi, A., Laforgia, D., 2011. Experimental and Fluid-dynamic Analysis of a Micro Wind Turbine in Urban Area. Proceedings from World Renewable Energy Congress, 8-13 May, Linköping, Sweden, 2011.

Ntinas, G. K., Kougias, P. G., Fragos, V. P., Martzopoulos G. G., 2011. Numerical Study of a Wind Turbine Type and Location Used to Produce Energy For Ventilation, Heat Pumps and Water Pumping Systems In Agricultural Structures. 16th International Symposium on Environmental Pollution and its Impact on Life in the Mediterranean Region, 24-27 September, Ioannina, Greece, 2011.

Roynarin, W., Leung, P. S., Datta, P. K., 2002. The performances of a vertical Darrieus machine with modern high lift airfoils. Proceedings from IMAREST conference MAREC 2002, Newcastle, UK, 2002.

Sunderland, K., Conlon, M., 2010. Estimating the yield of micro wind turbines in an urban environment: A methodology. Universities Power Engineering Conference (UPEC), 31 August-3 September, Cardiff, Wales, UK, 2010.

Watson, S. J., Infield, D. G., Barton, J. P., Wylie, S. J., 2007. Modelling of the Performance of a Building-Mounted Ducted Wind Turbine. J. Phys.: Conf. Ser., 75:doi:10.1088/1742-6596/75/1/012001.

ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΜΑΚΡΑΣ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΑΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΣΤΟ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ ΚΤΗΝΟΤΡΟΦΙΚΩΝ ΚΤΙΡΙΩΝ – ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΠΙΘΑΝΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΗΣ ΕΝΤΑΤΙΚΑ ΕΚΤΡΕΦΟΜΕΝΩΝ ΠΡΟΒΑΤΩΝ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΗΜΕΡΩΝ ΜΕ ΚΑΥΣΩΝΑ

Δημήτρης Κ. Παπαναστασίου[1], Guoqiang Zhang[2], Θωμάς Μπαρτζάνας[1], Παναγιώτης Παναγάκης[3], Κωνσταντίνος Κίττας[4]

[1]Εθνικό Κέντρο Έρευνας και Τεχνολογικής Ανάπτυξης, Ινστιτούτο Έρευνας και Τεχνολογίας Θεσσαλίας, Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανικής και Περιβάλλοντος, Τεχνολογικό Πάρκο Θεσσαλίας, Α΄ Βιομηχανική Περιοχή Βόλου, Τ.Θ. 15, Τ.Κ. 38500, Βόλος

[2]Πανεπιστήμιο Άαρχους, Τμήμα Μηχανικής, Finlandsgade 22, 8200 Άαρχους, Δανία

[3]Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής, Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών, Ιερά Οδός 75, Τ.Κ. 11855, Αθήνα

[4]Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών και Ελέγχου Περιβάλλοντος, Οδός Φυτόκου, Τ.Κ. 38446, Ν. Ιωνία Μαγνησίας

Αν στο εσωτερικό ενός κτηνοτροφικού κτιρίου επικρατούν δυσμενείς κλιματικές συνθήκες, είναι πιθανό να επηρεαστούν αρνητικά η εμφάνιση και η σοβαρότητα ορισμένων ασθενειών, η θερμική άνεση, ο ρυθμός ανάπτυξης και η παραγωγή γάλακτος των ζώων. Συνήθως, δεν υπάρχουν διαθέσιμες συνεχείς μετρήσεις για να μελετηθούν για πολλά χρόνια οι κλιματικές συνθήκες που επικρατούν εντός ενός κτιρίου και η διακύμανση παραγόντων που σχετίζονται με την ευζωία των ζώων, όπως η θερμική καταπόνηση (ΘΚ). Η παρούσα εργασία προτείνει μια μέθοδο για την ανάπτυξη μακρών χρονοσειρών θερμοκρασίας (Τ) και σχετικής υγρασίας (RH) που επικρατούν το καλοκαίρι εντός ενός προβατοστασίου με φυσικό αερισμό. Η μέθοδος της γραμμικής παλινδρόμησης εφαρμόστηκε για την ανάπτυξη δύο μοντέλων που χρησιμοποιήθηκαν για την εκτίμηση της Τ και της RH εντός του κτιρίου. Οι τιμές της Τ και της RH, οι οποίες καταγράφηκαν σε αγροτική περιοχή (Βελεστίνο) που βρίσκεται κοντά στο προβατοστάσιο, αποτέλεσαν τις ανεξάρτητες μεταβλητές. Οι τιμές που παρήχθησαν από τα μοντέλα συγκρίθηκαν με μετρήσεις που καταγράφηκαν εντός του κτιρίου. Η πιστοποίηση των μοντέλων βασίστηκε σε δύο στατιστικούς δείκτες, οι τιμές των οποίων έδειξαν ότι τα μοντέλα είναι ικανά να προσομοιώσουν τα επίπεδα Τ και RH που επικρατούν εντός του κτιρίου. Κατόπιν, οι χρονοσειρές αξιοποιήθηκαν για να υπολογιστεί ο δείκτης θερμοκρασίας υγρασίας εντός του κτιρίου και να αποτιμηθούν συγκριτικά οι τιμές του κατά τη διάρκεια ημερών με ή χωρίς καύσωνα για περίοδο 5 ετών. Η ανάλυση έδειξε ότι οι συνθήκες ΘΚ επιδεινώθηκαν σημαντικά κατά τη διάρκεια των ημερών με καύσωνα.

Λέξεις κλειδιά: κτηνοτροφικό κτίριο, πρόβατα, θερμική καταπόνηση, δείκτης θερμοκρασίας υγρασίας, καύσωνας, παλινδρόμηση

DEVELOPMENT OF LONG TIME SERIES OF CLIMATE CONDITIONS INSIDE LIVESTOCK BUILDINGS – AN APPLICATION TO STUDY POTENTIAL SHEEP HEAT-STRESS UNDER HOT WEATHER

Dimitris K. Papanastasiou[1], Guoqiang Zhang[2], Thomas Bartzanas[1], Panagiotis Panagakis[3], Constantinos Kittas[4]

[1]Centre for Research and Technology Hellas, Institute for Research and Technology – Thessaly, Laboratory of Agricultural Engineering and Environment, Technology Park of Thessaly, 1st Industrial Area of Volos, P.O. Box 15, Volos, GR-38500

[2]Aarhus University, Department of Engineering, Finlandsgade 22, 8200 Aarhus N, Denmark

[3]Agricultural University of Athens, Department of Natural Resources Management & Agricultural Engineering, Laboratory of Farm Structures, Iera Odos 75, Athens, GR-11855

[4]University of Thessaly, Department of Agriculture Crop Production and Rural Environment, Laboratory of Agricultural Constructions and Environmental Control, Fytokou Str., N. Ionia, Magnisia, GR-38446

dkpapan@ireteth.certh.gr, guoqiang.zhang@agrsci.dk, bartzanas@ireteth.certh.com, ppap@aua.gr, ckittas@uth.gr

If adverse climate conditions prevail inside a livestock building, the incidence and severity of certain diseases, as well as the animals' thermal comfort, growth rate and milk yield can be negatively affected. Continuous measurements are not usually available so as to study for several years the indoor climate conditions and the variation of parameters related to animals' welfare, like heat-stress. This paper proposes a method to develop long time series of summer temperature (T) and relative humidity (RH) values that prevail inside a naturally ventilated sheep barn. Linear regression analysis was applied to develop two models that were used to estimate the T and RH values inside the barn. T and RH values observed at a rural outdoor site (Velestino area) that is close to the barn were used as independent variables. The predicted values were compared against measurements recorded inside the barn. The validation of models was based on two statistical indices, whose values showed that the models are capable to simulate the indoor experimental data. Then, the time series were applied to calculate the Temperature Humidity Index inside the barn and to comparatively assess its values during heat wave and non heat wave days in a 5-year period. The analysis showed that heat-stress conditions were significantly deteriorated during heat wave days.

Keywords: livestock building, sheep, heat-stress, temperature humidity index, heat wave, regression

1. INTRODUCTION

Climate conditions within a livestock facility affect animal health and welfare. Heat-stress crucially affects the body growth, the biological functions and the productive and reproductive characteristics of sheep, therefore, it is considered as a serious threat for their short- or long-term thermal welfare. Silanikove (2000) stated that in the long-term growth, milk production and reproduction of ruminants are impaired under heat-stress as a result of the drastic changes in biological functions. Sevi et al. (2001) stated that high temperatures induce adverse effects on the thermal and energy balance, the mineral metabolism, the immune function, the udder health, and the milk production of lactating ewes during summer under the Mediterranean climate. Panagakis and Chronopoulou (2010) found that under abnormally hot summer conditions, dairy ewes had respiration rates above normal, while their shade seeking behaviour was also affected. A widely accepted method to study animals' heat-stress is the application of the Temperature Humidity Index (THI).

A method commonly used to achieve quantitative short-term prediction is the application of regression analysis. This method has been applied in many environmental studies, including studies concerning the livestock sector (Haeussermann et al, 2008).

This paper aims to develop long time series of summer indoor T and RH values so as to study the variations of the THI during heat wave days inside a naturally ventilated sheep barn.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1. Data

A miniature device (model Hobo Pro v2, Onset, USA) was used to monitor T and RH inside the sheep barn. The device was placed in a white plastic shield with lateral slots for protection. The shield was fixed at ~1.5 m above the ground in the middle of the animals' housing area. Outdoor T and RH were recorded by a fully equipped automated meteorological station. Hourly averaged values are used in the present analysis. Missing values were negligible. Information about the monitoring sites and the examined period is presented in Table 1.

Table 1. Information for the location of monitoring sites and for data temporal coverage.

Monitoring site	Code name	Coordinates	Temporal coverage
Sheep barn (indoors)	BIPE	22° 52′ E – 39° 23′ N	August 2010, July 2011, August 2011
Outdoor site	Velestino	22° 45′ E – 39° 24′ N	July and August, from 2007 to 2011

2.2. Development and validation of models

Linear regression analysis was applied to develop two models (eq. 1 and 2). They were both used to estimate T and RH at BIPE (T_{in} and RH_{in}, respectively) based on T and RH recorded at Velestino (T_{out} and RH_{out}, respectively). Data observed during July and August of 2011, were used to develop the models, while data observed during August of 2010 were used to validate the models.

$$T_{in} = a \cdot T_{out} + b \quad (1)$$

$$RH_{in} = c \cdot RH_{out} + d \quad (2)$$

The validation of the models was based (Joliffe and Stephenson, 2003) on two statistical indices, namely mean absolute error, MAE, and index of agreement, d. These indices are considered as good overall measures of model performance and have been widely used in environmental studies. The validated models were used to develop the indoor T and RH time series for July and August of the period 2007 – 2011.

2.3. Identification of heat wave days

T data observed at Velestino in July and August during the period 2007 – 2011 were used. The 90th percentile of the daily maximum hourly values (DMHVs) of T was calculated. When the DMHV of temperature exceeds the 90th percentile, a heat wave day is identified. The criterion is suggested by IPCC.

2.4. Estimation of sheep's heat-stress

THI given in equation 3 was applied, whereas relevant heat-stress categories are presented in Table 2 (Marai et al, 2007).

$$THI = T_{in} - (0.31 - 0.0031 \cdot RH_{in}) \cdot (T_{in} - 14.4) \quad (3)$$

Table 2. Definition of heat-stress categories according to THI values.

THI class	Heat-stress category
THI < 22.2	absence of heat-stress
22.2 ≤ THI < 23.3	moderate heat-stress
23.3 ≤ THI < 25.6	severe heat-stress
THI ≥ 25.6	extreme severe heat-stress

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Validation of models

The low values of MAE and the high values of d (Table 3) reveal that both models are capable to simulate the indoor experimental data. MAE illustrates the presence of significant fault predictions, while d indicates the degree to which the predictions of the model are error free.

Table 3. Assessment of the models performance.

	MAE (% of the mean of the observed values)	d
Model for T	3.7	0.95
Model for RH	10.4	0.85

3.2. Identification of heat wave days

The 90th percentile of the DMHVs of T observed at Velestino in July and August during the 2007 –

2011 period was found equal to 35.8 °C. The DMHV of T exceeded this threshold in 31 days, therefore 31 heat wave days (10.2%) were identified. 11, 5, 5, 7 and 3 heat wave days were identified in years from 2007 to 2011, respectively. Figure 1 shows the distribution of the DMHVs of T during the heat wave days. The maximum DMHV was 42.8 °C and it was observed on 25 July 2007, when the peak of a strong heat wave occurred (Papanastasiou et al, 2010). The non heat wave days were 273 (89.8%). No data were available for 6 days.

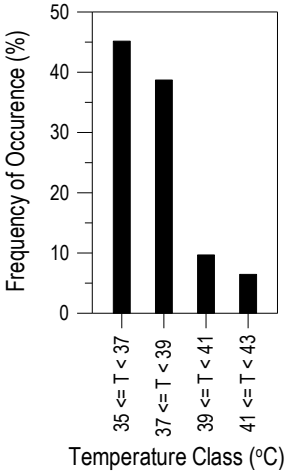


Figure 1. Frequency of occurrence of T's DMHVs during heat wave days.

3.3. Assessment of potential sheep heat-stress

Potential sheep heat-stress was assessed based on hourly THI values. The frequency of occurrence of THI classes during heat wave and non heat wave days revealed that a clear shift to higher classes is observed during heat wave days (figure 2). The averaged diurnal variation of THI during heat wave and non heat wave days (Figure 3) showed that: (a) heat-stress is always observed during heat wave days, (b) extreme severe heat-stress is observed between 10:00 and 24:00 during heat wave days and (c) the daily range of THI is higher during heat wave days than during non heat wave days.

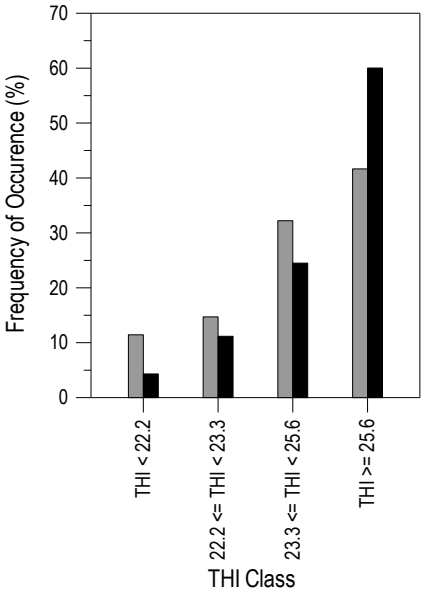


Figure 2. Frequency of occurrence of THI classes during heat wave (black bars) and non heat wave (gray bars) days

4. CONCLUSIONS

This paper presented a methodology to develop a long time series for T and RH inside a naturally ventilated sheep barn. The time series were produced by two models which were developed by applying regression analysis. As continuous indoor measurements are not usually available for long periods, the application of this methodology provides the opportunity to assess summer sheep heat-stress levels for several years. In this paper, heat-stress levels were assessed during heat wave and non heat wave days for a 5-year period and significant differences in THI levels were detected.

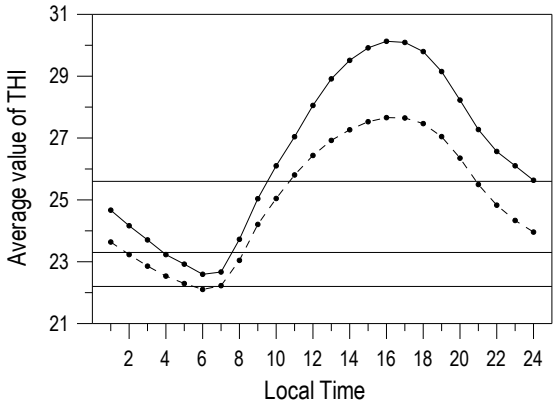


Figure 3. Averaged diurnal variation of THI during heat wave (solid line) and non heat wave (dashed line) days. The horizontal solid lines correspond to THI thresholds (i.e. 22.2, 23.3 and 25.6).

ACKNOWLEDGEMENT

This work was supported by the project "Assessment of techniques and technologies for reducing the environmental footprint of poultry facilities – GreenPoultry", funded by the national action "COOPERATION 2011 – Partnerships of Production and Research Institutions in Focused Research and Technology Sectors", of the NSRF 2007–2013 Operational Programme "Competitiveness and Entrepreneurship", General Secretariat for Research and Technology, Ministry of Education, Lifelong Learning And Religious Affairs, Hellenic Republic.

REFERENCES

Haeussermann, A., Costa, A., Aerts, J.M., Hartung, E., Jungbluth, T.,Guarino, M., Berckmans D., 2008. Development of a dynamic model to predict PM10 emissions from swine houses. J. Environ. Qual., 37:557–564

Joliffe, I.T., Stephenson, D.B., 2003. Forecast verification: a practitioner's guide in atmospheric science. Wiley, England

Marai, I.F.M., El-Darawany, A.A., Fadiel, A., Abdel-Hafez. M.A.M., 2007. Physiological traits as affected by heat stress in sheep-A review. Small Ruminant Res., 71(1-3):1–12

Panagakis, P., Chronopoulou, E., 2010. Preliminary evaluation of the apparent short term heat-stress of dairy ewes reared under hot summer conditions. Appl. Eng. Agric., 26(6):1035–1042

Papanastasiou, D.K., Melas, D., Bartzanas, T., Kittas, C., 2010. Temperature, comfort and pollution levels during heat waves and the role of sea breeze. Int. J. Biometeorol., 54(3):307– 317

Sevi, A., Annicchiarico, G., Albenzio, M., Taibi, L., Muscio, A., Dell'Aquila, S., 2001. Effects of solar radiation and feeding time on behavior, immune response and production of lactating ewes under high ambient temperature. J. Dairy Sci., 84(3):629–640

Silanikove, N., 2000. Effects of heat stress on the welfare of extensively managed domestic ruminants. Livest. Prod. Sci., 67(1-2):1-18

ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΤΟΥ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΣΤΗΝ ΕΞΩΤΕΡΙΚΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΤΩΝ ΑΓΡΟΤΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

Χριστίνα-Ανθή Κατσαΐτη, Βασίλειος Φράγκος, Θωμάς Κωτσόπουλος, Χρυσούλα Νικήτα-Μαρτζοπούλου
Τομέας Εγγείων Βελτιώσεων, Εδαφολογίας και Γεωργικής Μηχανικής, Γεωπονική Σχολή, Α.Π.Θ., 54124, Θεσσαλονίκη

Στην παρούσα εργασία υπολογίζεται αριθμητικά η ροή του αέρα γύρω από μία αγροτική κατασκευή και η μεταβολή του συντελεστή θερμικής μεταφοράς h_c, σε σχέση με τον αριθμό Reynolds. Η προσομοίωση της ροής επιτυγχάνεται με την επίλυση των εξισώσεων Navier-Stokes συνέχειας και ενέργειας, με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων. Λαμβάνοντας υπόψη τις κατάλληλες οριακές συνθήκες, προσομοιώνεται η ροή μέσα σε αεροσήραγγα. Τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται περιλαμβάνουν τη διαμόρφωση των γραμμών ροής, τις κατανομές των ταχυτήτων, τις μεταβολές της θερμοκρασίας και του συντελεστή θερμικής μεταφοράς h_c, σε σχέση με τον αριθμό Reynolds.

Λέξεις κλειδιά: αγροτικές κατασκευές, εξισώσεις Navier-Stokes, εξίσωση ενέργειας, συντελεστής θερμικής μεταφοράς.

NUMERICAL APPROACH OF THE HEAT TRANSFER COEFFICIENT ON THE EXTERNAL SURFACE OF AGRICALTURAL STRUCTURES

Christina-Anthi Katsaiti, Vassilios Fragos, Thomas Kotsopoulos, Chrysoula Nikita-Martzopoulou
Department of Hydraulics, Soil Science and Agricultural Engineering, Faculty of Agriculture, Aristotle University, 54124 Thessaloniki, Greece
e-mail: catsaiti@gmail.com, fragos@auth.gr, mkotsop@agro.auth.gr, nikita@agro.auth.gr

This study numerically presents the airflow over a typical agricultural structure and the ratio of the heat transfer coefficient h_c. The airflow simulation is based on the solution of the Navier-Stokes equations, continuous equation and energy equation with the finite element method. Taking into account the proper boundary conditions the airflow is simulated into a wind-tunnel. The presented results include stream-lines of air flow, air velocity values, temperature contours and the heat transfer coefficient with regards to Reynolds number.

Key words: agricultural structures, Navier-Stokes equations, energy equation, heat transfer coefficient

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η μελέτη του εξωτερικού περιβάλλοντος των αγροτικών κατασκευών, τα τελευταία χρόνια, έχει κινήσει το ερευνητικό ενδιαφέρον, καθώς επηρεάζει το εσωτερικό περιβάλλον, μεταβάλλοντας το ενεργειακό ισοζύγιο, όπως επίσης και τη στατικότητα τους (Νικήτα-Μαρτζοπούλου, 2006). Η παρουσία της κατασκευής μπορεί να θεωρηθεί εμπόδιο στην κίνηση του αέρα και είναι αιτία παραγωγής στροβιλισμών που μεταβάλλονται με τη μεταβολή της ταχύτητας του αέρα (Fragos *et al.*, 1997).

Στη θερμοδυναμική, ο συντελεστής θερμικής μεταφοράς (h_c), χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της μετάδοσης θερμότητας με μεταφορά μεταξύ ενός ρευστού κι ενός στερεού. Ο συντελεστής θερμικής μεταφοράς εκφράζει το ποσό της θερμότητας που μεταδίδεται με μεταφορά σ' ένα δευτερόλεπτο από μία επιφάνεια εμβαδού $1m^2$ στον εφαπτόμενο με αυτήν αέρα (και αντίστροφα) και όταν μεταξύ επιφάνειας και αέρα υπάρχει διαφορά θερμοκρασίας 1^oC. Στον υπολογισμό της μετάδοσης της θερμότητας στα υλικά κατασκευής, υπεισέρχεται η μετάδοση της θερμότητας με αγωγή, μέσα στη στερεά μάζα του υλικού και μετάδοση της θερμότητας με μεταφορά από τις επιφάνειες του υλικού προς τον εφαπτόμενο σε αυτές αέρα (και αντίστροφα) (Νικήτα-Μαρτζοπούλου, 2006). Ο υπολογισμός της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων είναι άρρηκτα συνδεδεμένος με τον h_c, καθώς αποτελεί αναγκαίο μέσον υπολογισμού της ενεργειακής κατάστασης τους. Εμφανίζεται σε αρκετούς οδηγούς ενεργειακής απόδοσης κτιρίων και χρησιμοποιείται από προγράμματα προσομοίωσης ενεργειακής απόδοσης (Defraeye *et al.*, 2010).

Η μετάδοση της θερμότητας με μεταφορά από τις επιφάνειες των κατασκευών συμβάλλει σημαντικά στην ολική κατανάλωση ενέργειας. Επηρεάζεται από τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος αέρα και από την κάθετη κίνηση του προς τις πλευρικές επιφάνειες αυτών. Η μετάδοση θερμότητας με μεταφορά αποτελεί ένα πολύπλοκο φαινόμενο που επηρεάζεται από το καθεστώς της ροής, τον προσανατολισμό της επιφάνειας και την τραχύτητα της (Liu and Harris, 2007).

Η διερεύνηση της ροής του αέρα σε συνάρτηση με τον συντελεστή θερμικής μεταφοράς γύρω από κατασκευές κέντρισε το ερευνητικό ενδιαφέρον για την πληρέστερη κατανόηση του φαινομένου. Αποτέλεσμα αυτού ήταν η εκπόνηση πειραμάτων σε φυσικό μέγεθος αλλά και υπό κλίμακα, καθώς και η χρήση της υπολογιστικής ρευστομηχανικής με την αρωγή ηλεκτρονικών υπολογιστών.

Οι Blocken et al. (2009) προσομοίωσαν με χαμηλούς αριθμούς Reynolds την κατανομή του συντελεστή θερμικής μεταφοράς. Τα αποτελέσματα έδειξαν για την κατανομή στην προσήνεμη πλευρά, ότι ο συντελεστής αυξάνεται συνολικά από τη βάση προς την κορυφή και από το μέσον της πρόσοψης προς τις πλευρές. Οι υψηλότερες τιμές εντοπίστηκαν στις άνω ακμές. Αυτό αποδίδεται στην τοπική επιτάχυνση της ροής σε αυτές τις θέσεις που μειώνουν το πάχος της οριακής στοιβάδας (Blocken *et al.*, 2009).

Οι Karava et al. (2011) προσομοίωσαν αριθμητικά, τη μεταφορά ενέργειας στην κεκλιμένη προσήνεμη πλευρά οροφής ενός απομονωμένου χαμηλού κτιρίου πού έφερε στην οροφή φωτοβολταϊκά/θερμικά συστήματα (Karava *et al.*, 2011).

Το μεγαλύτερο μέρος των βασικών τεχνικών μέτρησης του συντελεστή θερμικής μεταφοράς έχει αποδειχθεί ότι είναι ανακριβές για τραχείες επιφάνειες, κυρίως λόγω έντασης των στροβιλισμών κοντά στα στοιχεία τραχύτητας, ως εκ τούτου οι αριθμητικές μελέτες γίνονται όλο και πιο συχνά, ιδίως χάρη στη συνεχή βελτίωση της υπολογιστικής ισχύος. Έχει αποδειχτεί ότι η δισδιάστατη προσομοίωση δύναται να περιγράψει την τρισδιάστατη ροή με σχετικά καλή ακρίβεια (Keshmiri, 2012).

Στην παρούσα εργασία διερευνήθηκε, υπολογιστικά η ροή του αέρα για μικρούς αριθμούς Reynolds, γύρω από αγροτική κατασκευή, ορθογώνιας διατομής, σε σχέση με τον συντελεστή θερμικής μεταφοράς h_c, για τρία διαφορετικά υποθετικά θερμοκρασιακά σενάρια. Οι κατασκευές χαμηλού ύψους έχουν ευρεία εφαρμογή στην πράξη (θερμοκήπια, αγροτικές κατασκευές θερμοκηπιακού τύπου, αποθήκες, αστικά κτίρια κ.α.). Η εργασία αυτή αποτελεί μια πρώτη προσέγγιση για την εκτίμηση των ενεργειακών απωλειών σε κατασκευές για μικρούς αριθμούς Reynolds.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Παρακάτω παρουσιάζεται η διατύπωση του μαθηματικού μοντέλου, για ασυμπίεστη, δισδιάστατη ροή αέρα γύρω από κατασκευή μέσα σε αεροσήραγγα. Το μοντέλο περιλαμβάνει τις εξισώσεις Navier-Stokes, συνέχειας και ενέργειας. Οι οριακές συνθήκες στην είσοδο και στην έξοδο λαμβάνουν τιμές κατάλληλες ώστε να προσομοιώνεται η δισδιάστατη ροή γύρω από εμπόδιο μέσα σε αεροσήραγγα (Papanastasiou *et al.*, 1992). Επίσης λαμβάνονται οι οριακές συνθήκες της θερμοκρασίας για τα τρία διαφορετικά υποθετικά σενάρια που υπολογίστηκαν. Η επίλυση του μοντέλου επιτυγχάνεται με τη χρήση της μεθόδου των πεπερασμένων στοιχείων Galerkin.

2.1. Διέπουσες εξισώσεις

Αδιάστατες εξισώσεις Navier-Stokes

$$u^* \frac{\partial u^*}{\partial x^*} + v^* \frac{\partial u^*}{\partial y^*} = -\frac{\partial p^*}{\partial x^*} + \frac{1}{\mathrm{Re}}\left(\frac{\partial^2 u^*}{\partial x^{*2}} + \frac{\partial^2 u^*}{\partial y^{*2}}\right) - \frac{1}{Fr}\kappa T \qquad \textbf{1}$$

$$u^* \frac{\partial v^*}{\partial x^*} + v^* \frac{\partial v^*}{\partial y^*} = -\frac{\partial p^*}{\partial y^*} + \frac{1}{\mathrm{Re}}\left(\frac{\partial^2 v^*}{\partial x^{*2}} + \frac{\partial^2 v^*}{\partial y^{*2}}\right) - \frac{1}{Fr}\kappa T \qquad \textbf{2}$$

Αδιάστατη εξίσωση συνέχειας

$$\frac{\partial u^*}{\partial x^*} + \frac{\partial v^*}{\partial y^*} = 0 \qquad \textbf{3}$$

Αδιάστατη εξίσωση ενέργειας

$$u^* \frac{\partial T^*}{\partial x^*} + v^* \frac{\partial T^*}{\partial y^*} = \frac{1}{Pe}\left(\frac{\partial^2 T^*}{\partial x^{*2}} + \frac{\partial^2 T^*}{\partial y^{*2}}\right) \qquad \textbf{4}$$

Η αδιαστατοποίηση των παραπάνω εξισώσεων γίνεται χρησιμοποιώντας τα παρακάτω χαρακτηριστικά μεγέθη της ροής :

$$x^* = \frac{x}{h},\ y^* = \frac{y}{h},\ u^* = \frac{u}{U_0},\ v^* = \frac{v}{U_0},$$

5, 6, 7, 8

$$p^* = \frac{p}{p_0},\ p_0 = \rho U_0^2,\ T^* = \frac{T}{T_0},$$

9, 10, 11

Όπου:

u = οριζόντια συνιστώσα της ταχύτητας m/s
v = κατακόρυφη συνιστώσα της ταχύτητας m/s
T = θερμοκρασία, ^{o}K
κ = μοναδιαίο διάνυσμα προς την κατεύθυνση της βαρύτητας
$Re = \frac{U_0 h}{\nu}$: αριθμός Reynolds ως προς το χαρακτηριστικό μήκος
Pe = αριθμός Peclet
Fr= αριθμος Froude

Τα χαρακτηριστικά μεγέθη αδιαστατοποίησης που χρησιμοποιούνται είναι :

h = ύψος αγροτικής κατασκευής, m
U_0 = χαρακτηριστική ταχύτητα, m/s
p_0 = χαρακτηριστική ένταση πίεσης, N/m^2
T_0 = χαρακτηριστική θερμοκρασία στα τοιχώματα της κατασκευής και της αεροσήραγγας, K

Ο αριθμός Reynolds λαμβάνεται ίσος με 200 και αντιστοιχεί στην ομοιόμορφη ταχύτητα της ροής στην είσοδο της αεροσήραγγας, U_0=0.5m/sec

Οι παράμετροι u^*, v^*, p^* T^* είναι τα αδιαστατοποιημένα μεγέθη των παραμέτρων u,v, p, T αντίστοιχα.

2.2. Οριακές συνθήκες

Στην παρούσα εργασία επιβλήθηκαν οι κατάλληλες οριακές συνθήκες, ώστε να προσομοιώνεται η φυσική ροή αέρα γύρω από ορθογώνια κατασκευή, μέσα σε αεροσήραγγα. Ακόμη ελήφθησαν οι κατάλληλες συνθήκες θερμοκρασίας ώστε να προσομοιώνονται κατά το δυνατόν καλύτερα τα τρία διαφορετικά θερμοκρασιακά σενάρια. Λεπτομέρειες των οριακών συνθηκών παρουσιάζονται στους πίνακες 1, 2.

Πίνακας 1. Οι οριακές συνθήκες των συνιστωσών της ταχύτητας στην είσοδο, την έξοδο και τα τοιχώματα της αεροσήραγγας, καθώς και στα τοιχώματα της κατασκευής.

Συνιστώσες της ταχύτητας	*Τοιχώματα αεροσήραγγας και κατασκευής*	*Είσοδος αεροσήραγγας*	*Έξοδος αεροσήραγγας*
Οριζόντια συνιστώσα	*0 (Συνθήκες μη ολισθήσεως)*	*1 (Ομοιόμορφη ροη)*	*Ελεύθερη οριακή συνθήκη*
Κατακόρυφη συνιστώσα	*0 (Συνθήκες μη ολισθήσεως)*	*1 (Ομοιόμορφη ροη)*	*Ελεύθερη οριακή συνθήκη*

Τα μεγέθη που παρουσιάζονται στον πίνακα είναι αδιάστατα

Πίνακας 2. Οι οριακές συνθήκες θερμοκρασίας για τα τρία διαφορετικά σενάρια στην είσοδο, στα τοιχώματα της αεροσήραγγας, καθώς και στα τοιχώματα της κατασκευής.

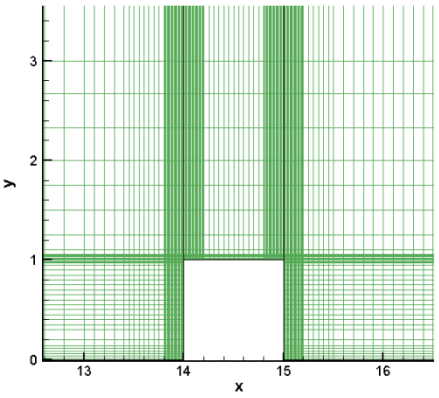
Υποθετικό σενάριο θερμοκρασίας	*Είσοδος αεροσήραγγας*	*Τοιχώματα αεροσήραγγας και κατασκευής*
Υποθετικό σενάριο 1	*0.2*	*1*
Υποθετικό σενάριο 2	*0.4*	*1*
Υποθετικό σενάριο 3	*0.6*	*1*

Τα μεγέθη που παρουσιάζονται στον πίνακα είναι αδιάστατα

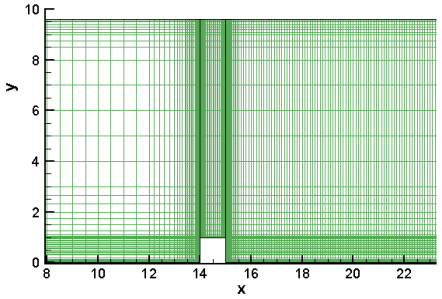
2.3 Μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων

Η επίλυση των διεπουσών εξισώσεων, μετά τον ορισμό των οριακών συνθηκών, γίνεται με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων. Για τις ανάγκες επίλυσης χρησιμοποιήθηκε κώδικας πεπερασμένων στοιχείων. Ο κώδικας βασίστηκε σε μεταπτυχιακή διατριβή (Φράγκος, 1995) και τροποποιήθηκε ώστε να επιλύονται εκτός από τις εξισώσεις Navier-Stokes, συνέχειας και η εξίσωση ενέργειας. Συντάχθηκε σε γλώσσα προγραμματισμού VISUAL FORTRAN 90/95.

Ο υπολογιστικός κάνναβος σχεδιάστηκε ώστε να εξασφαλίζεται η απαιτούμενη ακρίβεια και ο ελάχιστος χρόνος υπολογισμού. Στα σχήματα 1, 2 παρουσιάζεται ο υπολογιστικός κάνναβος.



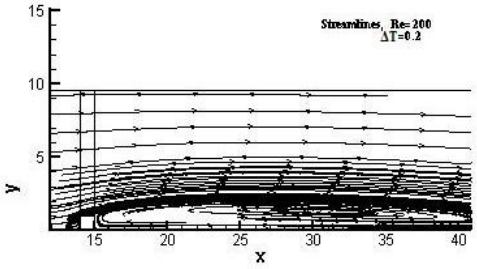
Σχήμα 1. Απεικόνιση του υπολογιστικού καννάβου



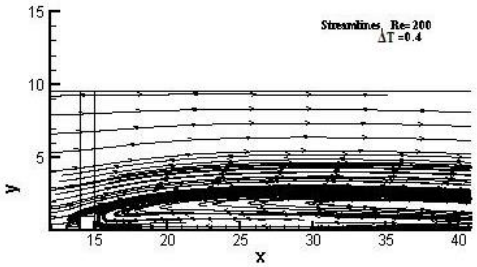
Σχήμα 2. Απεικόνιση του υπολογιστικού καννάβου

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

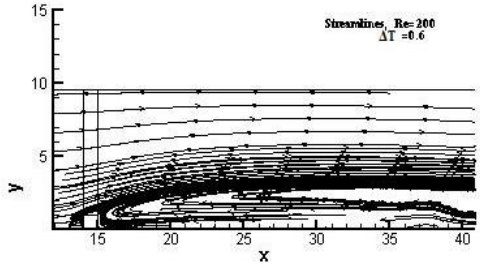
Παρατηρώντας τα σχήματα 3,4,5, διαφαίνεται η ροή γύρω από την κατασκευή, και η παραγωγή στροβιλισμών. Ο στρόβιλος κατάντη παρουσιάζει αύξηση μεγέθους όσο μεγαλώνει η θερμοκρασιακή διαφορά.



Σχήμα 3. Γραμμές ροής για αριθμό Re=200 και θερμοκρασιακή διαφορά ΔT=0.2

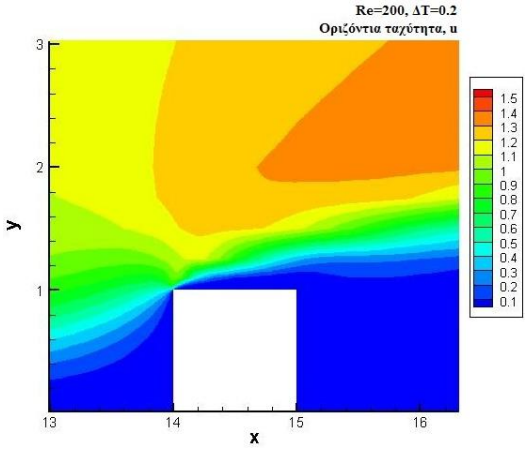


Σχήμα 4. Γραμμές ροής για αριθμό Re=200 και θερμοκρασιακή διαφορά ΔΤ=0.2

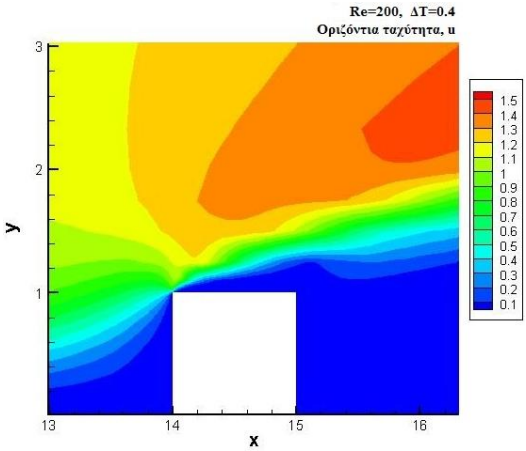


Σχήμα 5. Γραμμές ροής για αριθμό Re=1 και θερμοκρασιακή διαφορά ΔΤ=0.2

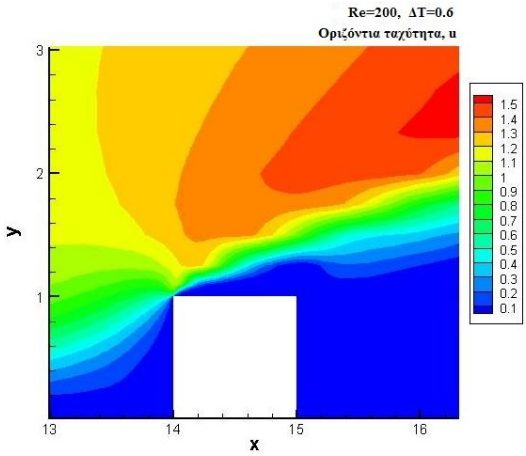
Από τα σχήματα 6,7,8 προκύπτει ότι οι μέγιστες τιμές της οριζόντιας συνιστώσας της ταχύτητας, u, εμφανίζονται ακριβώς πάνω από την περιοχή ανακυκλοφορίας κατάντη της κατασκευής. Όσο αυξάνεται η θερμοκρασιακή διαφορά ΔΤ η ταχύτητα αυξάνεται κατά τη y-διεύθυνση (για τους ίδιους αριθμούς Reynolds). Οι χαμηλότερες τιμές εμφανίζονται στις περιοχές ανακυκλοφορίας της ροής πλησίον τόσο της ανάντη όσο και της κατάντη πλευράς της κατασκευής.



Σχήμα 6. Οριζόντια συνιστώσα ταχύτητας για αριθμό Re=200 και θερμοκρασιακή διαφορά ΔΤ=0.2

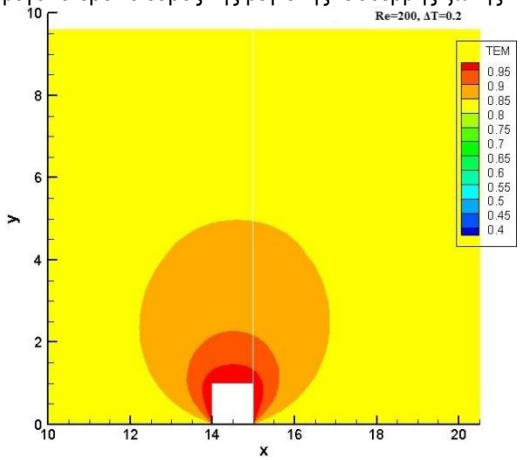


Σχήμα 7. Οριζόντια συνιστώσα ταχύτητας για αριθμό Re=200 και θερμοκρασιακή διαφορά ΔΤ=0.4

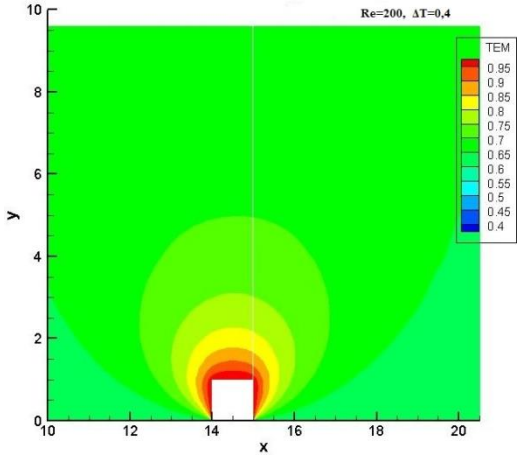


Σχήμα 8. Οριζόντια συνιστώσα ταχύτητας για αριθμό Re=200 και θερμοκρασιακή διαφορά ΔΤ=0.6

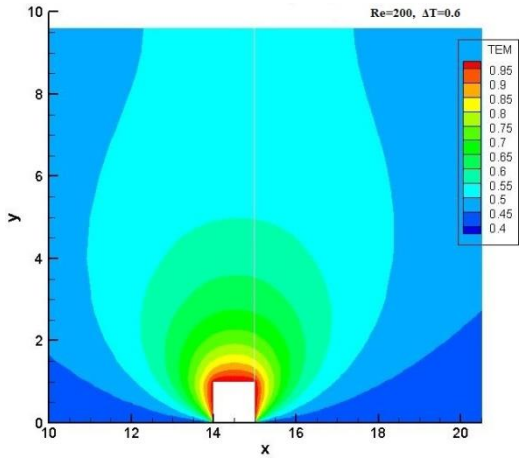
Από τα σχήματα 9,10,11 της κατανομής της θερμοκρασίας, Τ, προκύπτει ότι για διαφορά θερμοκρασίας ΔΤ=0.2 οι ισόθερμες ζώνες παρουσιάζουν μεγαλύτερο εύρος σε σχέση με τις ισόθερμες ζώνες για ΔΤ=0.4. Ομοίως οι ισόθερμες ζώνες για διαφορά θερμοκρασίας ΔΤ=0.4 παρουσιάζουν μεγαλύτερο εύρος σε σχέση με τις ισόθερμες ζώνες για ΔΤ=0.6. Ακόμη παρατηρείται ότι όσο μεγαλύτερη η θερμοκρασιακή διαφορά τόσο μεγαλύτερο το εύρος της μέγιστης ισόθερμης ζώνης.



Σχήμα 9. Κατανομή θερμοκρασίας για αριθμό Re=200 και θερμοκρασιακή διαφορά ΔΤ=0.2



Σχήμα 10. Κατανομή θερμοκρασίας για αριθμό Re=200 και θερμοκρασιακή διαφορά ΔΤ=0.4



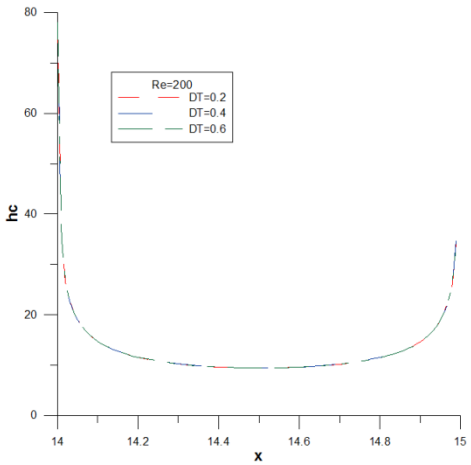
Σχήμα 11. Κατανομή θερμοκρασίας για αριθμό Re=200 και θερμοκρασιακή διαφορά ΔT=0.2

Ο συντελεστής θερμικής μεταφοράς προκύπτει από τη σχέση:

$$h_c = \frac{q}{A\Delta\theta}$$

Όπου,
q = ροη θερμότητας W
A = επιφάνεια m^2
Δθ = διαφορά θερμοκρασίας ^oC

Στο σχήμα 12 παρατηρείται μέγιστη τιμή του h_c ίση με 78 W/m^oC στη θέση x=14, y=1 η οποία βρίσκεται στην ανάντη γωνία της κατασκευής. Στην κατάντη γωνία της κατασκευής, στη θέση x=14.99, y=1 παρατηρείται τιμή ίση με 34.6 W/m^oC. Η τιμή του h_c λαμβάνει μία μέση τιμή ίση με 11.89 W/m^oC για το εύρος της περιοχής της οροφής από τη θέση 14.1 μέχρι τη θέση 14.9 (οι ακραίες τιμές δεν λαμβάνονται υπ' όψιν στον υπολογισμό της μέσης τιμής του h_c).



Σχήμα 12. Διακύμανση συντελεστή θερμικής μεταφοράς h_c για αριθμό Re=200 και θερμοκρασιακές διαφορές ΔT=0.2, ΔT=0.4, ΔT=0.6

4 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τα αποτελέσματα του αριθμητικού πειράματος προέκυψαν τα εξής:

- η περιοχή ανακυκλοφορίας κατάντη της κατασκευής αυξάνεται κατά την αύξηση της θερμοκρασιακής διαφοράς (ΔT)
- όσο αυξάνεται η θερμοκρασιακή διαφορά (ΔT), τόσο αυξάνεται η ταχύτητα κατά την y-διεύθυνση
- όσο αυξάνονται οι θερμοκρασιακές διαφορές τόσο μειώνεται το εύρος των ισόθερμων θερμοκρασιακών ζωνών
- η τιμή του h_c παραμένει σταθερή στην οροφή της κατασκευής και δεν επηρεάζεται από τους χαμηλούς αριθμούς Reynolds

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι η περαιτέρω διερεύνηση για μεγαλύτερους αριθμούς Reynolds και πιο ρεαλιστικές συνθήκες κρίνεται απαραίτητη.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Blocken, B., Defraeye, T., Derome, D., Carmeliet, J., 2009. High-resolution CFD simulations for forced convective heat transfer coefficients at the facade of a low-rise building. Building and Environment 44, 2396-2412.

Defraeye, T., Blocken, B., Carmeliet, J., 2010. CFD analysis of convective heat transfer at the surfaces of a cube immersed in a turbulent boundary layer. International Journal of Heat and Mass Transfer 53, 297-308.

Fragos, V.P., Psychoudaki, S.P., Malamataris, N.A., 1997. Computer-aided analysis of flow past a surface-mounted obstacle. International Journal for numerical Methods in Fluids 25, 495-512.

Karava, P., Jubayer, C.M., Savory, E., 2011. Numerical modelling of forced convective heat transfer from the inclined windward roof of an isolated low-rise building with application to photovoltaic/thermal systems. Applied Thermal Engineering 31, 1950-1963.

Keshmiri, A., 2012. Numerical sensitivity analysis of 3- and 2- dimensional rib-roughened channels. Heat Mass Transfer 48, 1257-1271.

Liu, Y., Harris, D.J., 2007. Full-scale measurements of convective coefficient on external surface of a low-rise building in sheltered conditions. Building and Environment 42, 2718-2736.

Papanastasiou, T.C., Malamataris, N.A., Ellwood, K., 1992. A new outflow boundary condition. International Journal for numerical Methods in Fluids 14, 587-608.

Νικήτα-Μαρτζοπούλου, Χ., 2006. Κτηνοτροφικές κατασκευές. Εκδόσεις Γιαχούδη-Γιαπούλη.

Φράγκος, Β.Π., 1995. Μεταπτυχιακή Διατριβή: Μαθηματική Προσομοίωση Ροής Αέρα Γύρω Απο Σταθερό Επιφανειακό Εμποδιο.

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΦΟΡΤΙΣΕΩΝ ΤΩΝ ΣΤΥΛΩΝ ΤΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΑΝΤΙΧΑΛΑΖΙΚΗΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΤΩΝ ΔΕΝΔΡΩΔΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Μενέλαος Θεοχάρης[1]
[1]Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών και Εγγειοβελτιωτικών Έργων, Τμήμα Φυτικής Παραγωγής, Τ.Ε.Ι. Ηπείρου, Κωστακιοί Άρτας, Τ.Κ. 47100 , e-mail: theoxar@teiep.gr.

Το χαλάζι είναι ένας φυσικός περιβαλλοντικός κίνδυνος που μπορεί μέσα σε ελάχιστα λεπτά της ώρας να καταστρέψει ολόκληρες παραγωγές. Ο πιο αποτελεσματικός τρόπος προστασίας των καλλιεργειών από αυτό, είναι η κάλυψη των φυτειών με αντιχαλαζικά δίχτυα. Κάθε εγκατάσταση αντιχαλαζικών διχτυών προϋποθέτει την ύπαρξη βασικής υποστύλωσης η οποία περιλαμβάνει τους στύλους και τα σύρματα (τένοντες) στα οποία πρόκειται να αναρριχηθούν και να προσδεθούν τα φυτά. Μέχρι το 2012 δεν υπήρχαν στην Ελλάδα τεχνικές προδιαγραφές για την κατασκευή των στύλων της βασικής υποστύλωσης. Για το λόγο αυτό δεν ήτο δυνατόν να δημιουργηθούν εγχώριες βιομηχανίες κατασκευής τους και οι στύλοι, είτε ήταν εισαγόμενοι, είτε κατασκευαζότανε με ευθύνη των καλλιεργητών. Το 2012 ο ΕΛ.Γ.Α. συγκρότησε ομάδα εργασίας με αποστολή τη σύνταξη τεχνικών προδιαγραφών για: α) σύστημα προστασίας με αντιχαλαζικά δίχτυα των καλλιεργειών μηλοειδών, πυρηνοκάρπων, αμπελοειδών και ακτινιδιών και β) συνδυαστικό σύστημα προστασίας με αντιβροχικές μεμβράνες και αντιχαλαζικά δίχτυα για την καλλιέργεια της κερασιάς. Στα πλαίσια των εργασιών της ομάδας εργασίας, συντάχτηκε πρότυπη τεχνική μελέτη στην οποία, πλην των άλλων, περιλαμβάνεται και ο υπολογισμός των φορτίσεων των στύλων των αντιχαλαζικών διχτυών. Σε αυτό το άρθρο παρουσιάζεται η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για τον υπολογισμό των φορτίσεων των στύλων των εγκαταστάσεων αντιχαλαζικής προστασίας. Οι φορτίσεις αυτές στη συνέχεια θα χρησιμοποιηθούν για τη στατική επίλυση και τη διαστασιολόγηση των στύλων.

Λέξεις κλειδιά: χαλάζι, προστασία, ανιχαλαζικό δίχτυ, φόρτιση, στύλος, δενδρώδης καλλιέργεια , ΕΛ.Γ.Α.

Calculating the actions on the columns of an anti-hail system for tree crops in Greece

Menelaos Theocharis
Laboratory of Agricultural Constructions and land-improvement works, Department of Crop Production ,Technical Educational Institution of Epirus, 47100 Arta , Greece , e-mail: theoxar@teiep.gr.

Hail is an environmental danger which can destroy the whole crop just in a few minutes. The most effective way of protecting crops against hail, is to cover the plantations with anti-hail nets. For each structure of hail-net a basic supporting construction is required which includes the columns and the wires (tendons) on which the plants have to be supported. Until 2012 there were no technical specifications for the basic supporting construction in Greece. For this reason it wasn't possible for any construction industry to create them, so the columns were either imported or constructed by farmers themselves. In 2012 the Hellenic Organization of Agricultural Insurances (EL.G.A.) established a working group for the specification of all the appropriate technical specifications for: a) an anti hail protection system using anti-hail nets so that several tree crops should be protected and b) a combination protection system against hail and rain using anti-hail nets and anti - rain membranes for the cherry crop. That working group produced a structural calculation study in which, except of others, the calculations of the actions on the columns of the anti-hail system for tree crops were included. In this paper the actions on the columns of an anti-hail system for tree crops in Greece is calculated. These actions subsequently will be used in static calculations and moreover for the dimensioning of columns.

Key words: hail, protection, anti-hail net, action, column, tree crop, EL.G.A.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι κυριότερες μέθοδοι, που έχουν αναπτυχθεί για την αντιμετώπιση των καταστροφών από τη χαλαζόπτωση, είναι οι ακόλουθες: α) Σπορά νεφών. β) Αντιχαλαζικά κανόνια ηχοβολής. γ) αντιχαλαζικά δίχτυα, τα οποία είναι και τα πιο αποτελεσματικά μέσα προστασίας. Τα τελευταία χρόνια η χρησιμοποίηση των αντιχαλαζικών διχτυών έχει μεγάλη ανάπτυξη, τόσο παγκοσμίως όσο και στη χώρα μας, όπου με πρωτοβουλία του ΕΛ.Γ.Α. γίνεται προστασία στα μηλοειδή, τα πυρηνόκαρπα, τα ακτινίδια, τα αμπέλια και τις κερασιές.

Κάθε εγκατάσταση αντιχαλαζικής προστασίας αποτελείται από τα δίχτυα κάλυψης και το σκελετό στήριξης αυτών. Μέχρι σήμερα οι εγκαταστάσεις αντιχαλαζικής προστασίας δεν έχουν αποτελέσει αντικείμενο Εθνικού ή Ευρωπαϊκού προτύπου και για τον υπολογισμό τους χρησιμοποιούνται κατά περίπτωση οι διατάξεις των Ευρωκωδίκων και οι περιορισμένες πληροφορίες, που υπάρχουν στη διεθνή βιβλιογραφία για το υπόψη θέμα. Στην Ελλάδα έχουν γίνει μελέτες σχετικές: α) με τη μηχανική συμπεριφορά και τις ιδιότητες των από HDPE διχτυών κάλυψης των γεωργικών κατασκευών (Briassoulis et al.,2007a,b) και β) με τη μεθοδολογία σχεδιασμού των γεωργικών κατασκευών που καλύπτονται με δίχτυα (Briassoulis and Mistriotis, 2010).

Η έλλειψη τεχνικών προδιαγραφών για την κατασκευή των στύλων των σκελετών στήριξης των

εγκαταστάσεων αντιχαλαζικής προστασίας είχε συνέπεια να μην δημιουργηθούν στην Ελλάδα εγχώριες βιομηχανίες κατασκευής και οι στύλοι, είτε ήταν εισαγόμενοι, είτε κατασκευαζότανε με ευθύνη των καλλιεργητών χωρίς κανένα τεχνικό έλεγχο. Αποτέλεσμα αυτού του γεγονότος ήτο το υψηλό κόστος των στύλων και το αμφίβολο της ποιότητάς τους. Στην παρούσα μελέτη γίνεται υπολογισμός των φορτίσεων των στύλων των εγκαταστάσεων αντιχαλαζικής προστασίας δενδρωδών καλλιεργειών στην Ελλάδα οι οποίες θα χρησιμοποιηθούν στη συνέχεια για τη στατική επίλυση και τη διαστασιολόγησή τους.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

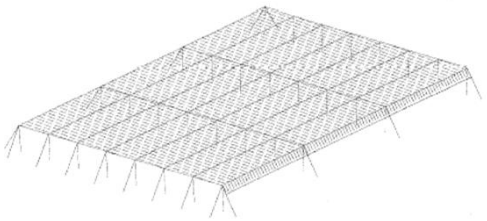
2.1. Η εγκατάσταση αντιχαλαζικών διχτυών

2.1.1. Ιδιότητες της κατασκευής

Στις εγκαταστάσεις προστασίας από το χαλάζι θα πρέπει να εξασφαλίζονται τα εξής (ΕΛ.Γ.Α., 2012): α) Προστασία του φυτικού κεφαλαίου και της παραγωγής. β) Ανεξαρτησία του χώρου της εγκατάστασης ώστε να μην παρακωλύεται η εγκατάσταση από όμορες ιδιοκτησίες, ούτε να παρακωλύει την εγκατάσταση σε αντίστοιχες όμορες ιδιοκτησίες. γ) Απρόσκοπτη προσπέλαση στο χώρο προστασίας. δ) Άνετη κυκλοφορία προσώπων και μηχανημάτων, για την εκτέλεση των γεωργικών εργασιών στο χώρο της εγκατάστασης. ε) Αντοχή της κατασκευής σε διακυμάνσεις θερμοκρασίας από -15 έως 60 ^{o}C. ζ) Δυνατότητα ασφαλούς παραλαβής όλων των φορτίων από την κατασκευή χωρίς να γίνεται υπέρβαση των ορίων αντοχής των υλικών από τα οποία συντίθεται η κατασκευή. η) Στερεότητα, έτσι ώστε αν προκληθεί μια ζημιά σε μια αυτοτελή μονάδα, να μην έχει γενικότερη επίπτωση στη στερεότητα των άλλων μονάδων.

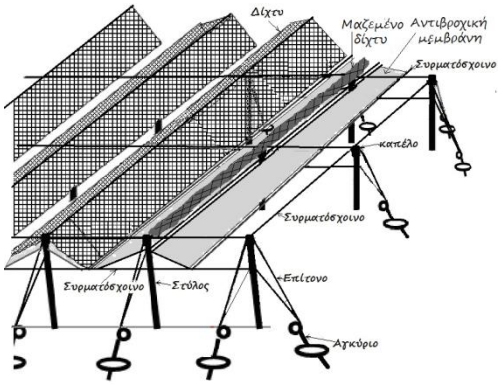
2.1.2. Η υποστύλωση της κατασκευής

Κάθε εγκατάσταση αντιχαλαζικών διχτυών προϋποθέτει την ύπαρξη βασικής υποστύλωσης ικανής να εξασφαλίζει τις απαιτήσεις που προαναφέρθηκαν. Η βασική υποστύλωση περιλαμβάνει τους στύλους και τα σύρματα στα οποία πρόκειται να αναρριχηθούν και να προσδεθούν τα φυτά. Στο σχήμα 1 δίνεται σχηματική παράσταση μιας τυπικής εγκατάστασης αντιχαλαζικών διχτυών. Η υποστύλωση της εγκατάστασης πρέπει να είναι ανεξάρτητη και να μην εμποδίζεται από κάθε άλλη κατασκευή που τυχόν θα υπάρχει μέσα στο χώρο προστασίας.



Σχήμα 1. Σχηματική παράσταση μιας τυπικής εγκατάστασης αντιχαλαζικών διχτυών.

Οι στύλοι μπορεί να είναι από οπλισμένο σκυρόδεμα (σιδηροπαγές ή προεντεταμένο) ή ξύλινοι ή μεταλλικοί. Πρέπει να είναι ευθυγραμμισμένοι, οι κορυφές τους να βρίσκονται σε οριζόντιο επίπεδο και να εξασφαλίζεται η στερεή έδρασή τους στο έδαφος. Το άνω άκρο τους πρέπει να καλύπτεται με κατάλληλο ειδικό πλαστικό κάλυμμα, το "καπέλο", το οποίο στερεώνει σε αυτούς τους τένοντες σύνδεσης. Όλοι οι περιμετρικοί στύλοι πρέπει να υποστηριχθούν από αντιστήριξη με αγκύρια και επίτονα με τεντωτήρα. Στο σχήμα 2 δίνεται η ονοματολογία των εξαρτημάτων μιας εγκατάστασης αντιχαλαζικών διχτυών και στον πίνακα 1 φαίνονται τα γεωμετρικά και κλιματολογικά δεδομένα μιας εγκατάστασης προστασίας δενδρωδών καλλιεργειών (ΕΛ.Γ.Α., 2012).



Σχήμα 2. Ονοματολογία των εξαρτημάτων μιας τυπικής εγκατάστασης αντιχαλαζικών διχτυών

Πίνακας 1. *Γεωμετρικά και κλιματολογικά δεδομένα μιας εγκατάστασης προστασίας δενδρωδών καλλιεργειών.*

Δεδομένα	Τιμές
Αποστάσεις μεταξύ των γραμμών, C [m]	4,00
Αποστάσεις των στύλων στη γραμμή, L [m]	10,00
Γωνία κλίσης των ακραίων στύλων των μεσαίων γραμμών, ω [μοίρες]	80
Γωνία κλίσης των μεσαίων στύλων των ακραίων γραμμών, ω΄ [μοίρες]	80
Ύψος του στύλου (ολικό), h [m]	5,00
Ταχύτητα ανέμου, $V_{b(0)}$ [m/s]	27,00
Συχνότητα επανεμφάνισης του ανέμου, p [%]	5
Γωνίες της αντιστήριξης του τένοντα με την κατακόρυφη, φ = φ΄ [μοίρες]	12

2.2. Οι φορτίσεις των στύλων

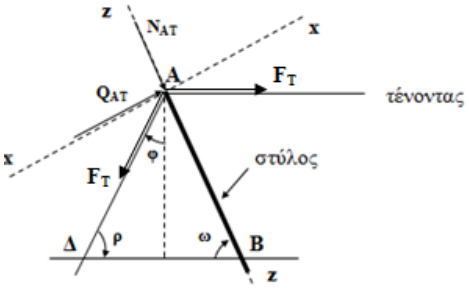
Οι στύλοι συνδέονται μεταξύ τους με χαλύβδινους τένοντες οι οποίοι είναι δύο κατηγοριών: α) παράλληλοι στις γραμμές φύτευσης και β) κάθετοι σε αυτές. Οι πρώτοι είναι προεντεταμένοι και επιβάλλουν φορτία στους στύλους ενώ οι δεύτεροι είναι απλοί, παραλαμβάνουν φορτία από τους στύλους και τα μεταβιβάζουν στο έδαφος. Οι τένοντες στηρίζονται στους στύλους χωρίς τριβές και για το λόγο αυτό οι μεν παράλληλοι στις γραμμές φύτευσης μεταβιβάζουν στους στύλους μόνο θλιπτικές και τέμνουσες δυνάμεις

(και όχι εφελκυστικές) οι δε κάθετοι στις γραμμές φύτευσης μεταβιβάζουν μόνο τέμνουσες δυνάμεις.

Οι δράσεις στις κεφαλές των στύλων οφείλονται στην δύναμη προέντασης των τενόντων και στην ανεμοφόρτιση των διχτυών. Η δύναμη προέντασης των τενόντων είναι οριζόντια αξονική δύναμη και η δύναμη από την ανεμοφόρτιση δρα κάθετα στην κεκλιμένη επιφάνεια των διχτυών.

2.2.1. Δράσεις λόγω της προέντασης του τένοντα

Οι δράσεις στις κεφαλές των στύλων από τη δύναμη προέντασης του τένοντα, σχήμα 3, υπολογίζονται από τις σχέσεις (Θεοχάρης, 2012):



Σχήμα 3. Οι συνιστώσες της δράσεως στην κεφαλή κεκλιμένου στύλου λόγω οριζόντιας δύναμης.

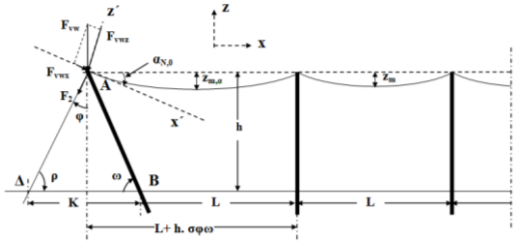
$$N_{AT} = F_T(\eta\mu(\omega-\varphi)+\sigma\upsilon\nu\omega) \qquad (1)$$

$$Q_{AT} = F_T(\eta\mu\omega-\sigma\upsilon\nu(\omega-\varphi)) \qquad (2)$$

όπου F_T είναι η δύναμη προέντασης του τένοντα, ω είναι η κλίση του στύλου και φ είναι η γωνία της αντιστήριξης του τένοντα με την κατακόρυφη.

2.2.2. Δράσεις λόγω της κατακόρυφης φόρτισης του τένοντα από ανεμοφόρτιση

Όταν στον τένοντα επιβάλλεται κατακόρυφη φόρτιση από την ανεμοφόρτιση του διχτυού, ο τένοντας καμπυλώνεται, σχήμα 4, και με πολύ καλή προσέγγιση μπορεί να θεωρηθεί ότι η εξίσωση της καμπύλης είναι 2ου βαθμού. Με την παραδοχή αυτή, οι δράσεις στην κεφαλή του στύλου, σχήμα 5, υπολογίζονται από τις σχέσεις (Θεοχάρης, 2012):



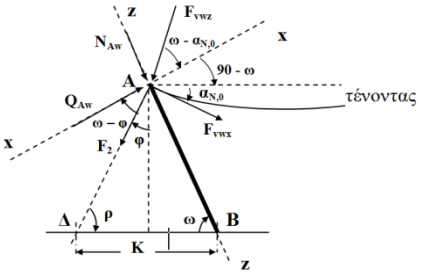
Σχήμα 4. Οι δράσεις στην κεφαλή του στύλου λόγω κατακόρυφης δράσεως στον τένοντα.

$$N_{Aw} = F_{vw}\left[\sigma\upsilon\nu\,\alpha_{N,0}\;\eta\mu(\omega-\alpha_{N,0}) + \right.$$
$$\left. +\eta\mu\alpha_{N,0}\left(\sigma\upsilon\nu(\omega-\alpha_{N,0})+\eta\mu(\omega-\varphi)\right)\right] \qquad (3)$$

και

$$Q_{Aw} = F_{vw}\left[-\sigma\upsilon\nu\alpha_{N,0}\,\sigma\upsilon\nu(\omega-\alpha_{N,0}) + \right.$$
$$\left. +\eta\mu\alpha_{N,0}\left(\eta\mu(\omega-\alpha_{N,0})-\sigma\upsilon\nu(\omega-\varphi)\right)\right] \qquad (4)$$

όπου F_{vw} είναι η συνισταμένη των κατακορύφων δράσεων στην κεφαλή Α του στύλου λόγω της ανεμοφόρτισης και $\alpha_{N,0}$ είναι η γωνία κλίσεως του τένοντα στο σημείο Α.



Σχήμα 5. Οι συνιστώσες της δράσεως στην κεφαλή κεκλιμένου στύλου λόγω κατακόρυφης δράσεως στον τένοντα.

2.2.3. Η συνολική ανεμοφόρτιση στο δίχτυ

Ο υπολογισμός γίνεται με μέθοδο που προτείνεται στο μέρος 1 - 4 του Ευρωκώδικα 1 (EN 1991 ή αλλιώς EC1). Η συνολική δύναμη που επενεργεί σε μία κατασκευή, F_w, δρα, σύμφωνα με την § 5.3 του EC1, κάθετα στην προσβαλλόμενη επιφάνεια και προκύπτει από τη σχέση :

$$F_w = c_s c_d \,.\, c_f \,.\, q_p(z_e)\,.\,A_{ref} \qquad [N/m^2] \qquad (5)$$

όπου:

$\mathbf{c_s c_d}$ είναι ο δυναμικός συντελεστής, ο οποίος σύμφωνα με την § 6.2 του EC1 για κατασκευές με ύψος μικρότερο από 15 μέτρα είναι ίσος με 1.

$\mathbf{c_f}$ είναι ο συντελεστής δύναμης, ο οποίος υπολογίζεται σύμφωνα με τον πίνακα 7.7. της § 7.3. του EC1, για συντελεστή πληρότητας φ = 0 επειδή στην προσήνεμη πλευρά υπάρχουν εμπόδια (η κόμη των φυτών) και για γωνία κλίσης του διχτυού α = 24,70⁰ (Θεοχάρης, 2012). Προκύπτει min c_f = -1,0 και max c_f = + 0,7.

Οι παραπάνω τιμές του c_f προέκυψαν με την προϋπόθεση ότι οι προσβαλλόμενες επιφάνειες είναι συμπαγείς και αδιαπέρατες από τον άνεμο πράγμα το οποίο δεν ισχύει στα αντιχαλαζικά δίχτυα όπου η ανεμοφόρτιση είναι σημαντικά μειωμένη.

Η επιτροπή του ΕΛ.Γ.Α. κατά τη συνεδρίαση της 7-12-2012 απεφάσισε να μειώσει τους συντελεστές δύναμης για τα αντιχαλαζικά δίχτυα σε min c_f = - 0,6 και max c_f = + 0,5.

$\mathbf{Q_p(Z_e)}$ είναι η πίεση ταχύτητας αιχμής η οποία υπολογίζεται από τη σχέση:

$$q_p(z_e) = q_b c_e(z_e) \quad [N/m^2] \qquad (6)$$

Η $Q_p(Z_e)$ για ύψος αναφοράς z_e, περίοδο επανεμφάνισης του ανέμου T = 20 έτη και για εδάφη σχεδόν επίπεδα, υπολογίζεται (Μ. Θεοχάρης, 2000, 2011, 2012) από τις σχέσεις :

α. Για τα νησιά και τις παράκτιες ζώνες :

$$q_p(z_e) = q_{b(p)} \,.\, c_e(z_e) = 780{,}03 \quad [N/m^2] \qquad (7)$$

β. Για το εσωτερικό της χώρας :

$$q_p(z_e) = q_b c_e(z_e) = 522{,}16 \quad [N/m^2] \qquad (8)$$

Το ύψος αναφοράς $z_e = z_i = z$ για τα στέγαστρα, σύμφωνα με την § 7.3.(8) του EC1 είναι η απόσταση από το έδαφος μέχρι το ύψος της υδρορρόης.

A_{ref} είναι η επιφάνεια αναφοράς ήτοι η κεκλιμένη παρειά της επιφάνειας του διχτυού.

Επομένως η συνολική δύναμη από ανεμοφόρτιση προκύπτει (Θεοχάρης, 2012):

α. Για τα νησιά και τις παράκτιες ζώνες:

$$\max F_w^+ = +390{,}00 \,.\, A_{ref} \quad [N] \tag{9}$$

$$\min F_w^- = -468{,}00 \,.\, A_{ref} \quad [N] \tag{10}$$

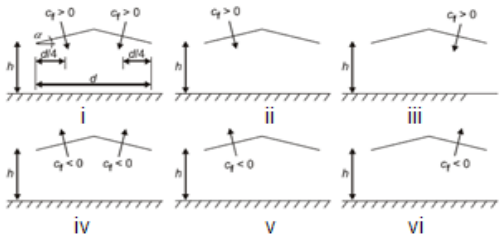
β. Για το εσωτερικό της χώρας :

$$\max F_w^+ = +261{,}08 \,.\, A_{ref} \quad [N] \tag{11}$$

$$\min F_w^- = -313{,}30 \,.\, A_{ref} \quad [N] \tag{12}$$

2.2.3. Η συνολική ανεμοφόρτιση των τενόντων

Σύμφωνα με την § 7.3. (6) του EC1 για τα δικλινή στέγαστρα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη έξι διαφορετικές περιπτώσεις φορτίσεως όπως φαίνεται στο σχήμα 6.



Σχήμα 6. Σχήμα 7.17 του prEN 1991-1-4:2004, σελ. 61

Από τις παραπάνω φορτίσεις για το εσωτερικό της χώρας προκύπτει:

α. Η μέγιστη κατακόρυφη δύναμη προς τα κάτω είναι εκείνη της περιπτώσεως i :

$$F_{vw}^+ = +2 \,.\, F_w^+ \,.\, \sigma\upsilon\nu\alpha \,.\, f = +261{,}08 \,.\, C \quad [N/m] \tag{13}$$

όπου f είναι το κεκλιμένο ύψος της παρειάς του διχτυού.

Η μέγιστη κατακόρυφη δύναμη προς τα πάνω είναι εκείνη της περιπτώσεως ii:

$$\min F_{vw}^- = -2 \,.\, F_w^- \,.\, \sigma\upsilon\nu\alpha \quad f = -313{,}30\, C \quad [N/m] \tag{14}$$

η οποία συνεπάγεται εφελκυστική καταπόνηση στους στύλους.

Επειδή όμως ο τένοντας δεν είναι αγκυρωμένος στους στύλους, η δύναμη αυτή δεν καταπονεί τους στύλους αλλά μεταφέρεται από τον τένοντα και παραλαμβάνεται από τα αγκύρια.

β. Η μέγιστη οριζόντια δύναμη είναι εκείνη των περιπτώσεων iv και vi :

$$F_{Hw}^- = -72{,}54 \,.\, C \quad [N/m] \quad \text{προς τα αριστερά} \tag{15}$$

$$F_{Hw}^+ = +72{,}54 \,.\, C \quad [N/m] \quad \text{προς τα δεξιά} \tag{16}$$

Κατά την επιβολή των οριζοντίων δυνάμεων στις κεφαλές των στύλων προκαλείται εφελκυσμός του τένοντα, ο οποίος είναι κάθετος στη γραμμή, απορροφουμένου για το σκοπό αυτό ενός μέρους της δύναμης. Το τμήμα της δύναμης που απομένει εφαρμόζεται ως τέμνουσα δύναμη στην κεφαλή του στύλου κατά τη διεύθυνση y-y. Η δύναμη που αναλώνεται για τον εφελκυσμό του τένοντα μπορεί να εκτιμηθεί (Θεοχάρης, 2012), από τη σχέση:

$$F_e = \sigma_e \,.\, A_T = \varepsilon_s \,.\, E_s \,.\, A_T = \frac{\Delta C}{C} \,.\, E_s \,.\, A_T \tag{17}$$

όπου: E_s =20 GPa είναι το μέτρο ελαστικότητας του χάλυβα, A_T είναι το εμβαδόν της διατομής του τένοντα και $\frac{\Delta C}{C} = 1{,}74$ ‰ είναι η ανηγμένη παραμόρφωση του τένοντα. Αν ληφθεί ως διάμετρος του τένοντα δ = 7 mm προκύπτει:

$$F_e = 1{,}74‰ \,.\, 20 \text{ GPa} \,.\, \frac{\pi.(7.10^{-3})^2}{4} = 1339{,}26 \,[N]$$

Η παραμένουσα οριζόντια δράση στην κεφαλή κάθε στύλου που θα ληφθεί υπόψη στους υπολογισμούς ως τέμνουσα δύναμη είναι:

$$F_{Hw,t} = \frac{F_{Hw}}{C} A_{ref} \,.\, -F_e \tag{18}$$

όπως αυτή εξειδικεύεται κατά περίπτωση.

Παρατήρηση: Για τα νησιά και τις παράκτιες ζώνες ισχύουν ανάλογα οι σχέσεις 13 έως 16 όπου τα $maxF_w$ και $minF_w$ παίρνονται από τις σχέσεις 9 και 10.

2.3. Επαλληλία φορτίσεων των στύλων

2.3.1. Μεσαίες γραμμές

2.3.1.1. Ακραίοι στύλοι

2.3.1.1.1. Φόρτιση κατά τη διεύθυνση x-x (παράλληλα στον άξονα της γραμμής)

2.3.1.1.1.1. Φόρτιση στην κεφαλή των στύλων

Δύο είναι οι πιθανές περιπτώσεις φορτίσεως :

1. Φόρτιση από την προένταση του τένοντα.

<u>Αξονική θλιπτική δύναμη:</u>

$$N_{A\tau} = F_T \,.\, (\eta\mu(\omega - \varphi) + \sigma\upsilon\nu\omega) \tag{1}$$

<u>Τέμνουσα δύναμη:</u>

$$Q_{A\tau} = F_T \,.\, (\eta\mu\omega - \sigma\upsilon\nu(\omega - \varphi)) \tag{2}$$

2. Φόρτιση από την προένταση του τένοντα και την κατακόρυφη συνιστώσα της ανεμοφόρτισης

<u>Αξονική θλιπτική δύναμη</u>

$$\begin{aligned} N_{A,\tau+w} = F_T \Big[& \sigma\upsilon\nu\alpha_{N,0} \left(\eta\mu(\omega - \varphi) + \sigma\upsilon\nu\omega\right) + \\ & + \eta\mu\alpha_{N,0}\, \sigma\upsilon\nu\omega \Big] + F_{vw,\alpha} \Big[\sigma\upsilon\nu\, \alpha_{N,0} \,.\, \eta\mu(\omega - \alpha_{N,0}) + \\ & + \eta\mu\alpha_{N,0} \,.\, \left(\sigma\upsilon\nu(\omega - \alpha_{N,0}) + \eta\mu(\omega - \varphi)\right) \Big] \end{aligned} \tag{19}$$

<u>Τέμνουσα δύναμη</u>

$$\begin{aligned} Q_{A,\tau+w} = F_T \Big[& \sigma\upsilon\nu\alpha_{N,0} \left(\eta\mu\omega - \sigma\upsilon\nu(\omega - \varphi)\right) + \\ & + \eta\mu\alpha_{N,0}\, \eta\mu\omega \Big] + F_{vw,\alpha} \Big[-\sigma\upsilon\nu\alpha_{N,0}\, \sigma\upsilon\nu(\omega - \alpha_{N,0}) + \\ & + \eta\mu\alpha_{N,0} \left(\eta\mu(\omega - \alpha_{N,0}) - \sigma\upsilon\nu(\omega - \varphi)\right) \Big] \end{aligned} \tag{20}$$

όπου :

$$F_{vw,\alpha} = \pm\ 261{,}08.C.\frac{h.\sigma\varphi\omega + L}{2}\quad [N] \qquad (21)$$

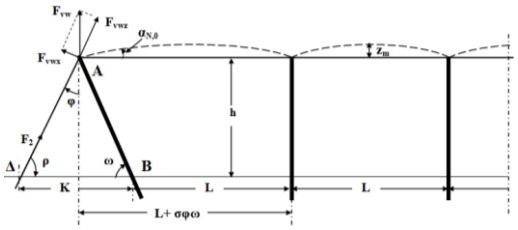
2.3.1.1.1.2. Φόρτιση στην αγκύρωση των στύλων

Επειδή ο τένοντας δεν είναι αγκυρωμένος στο στύλο, η δύναμη F_{vw} μεταφέρεται στην αντηρίδα χωρίς τριβές οπότε $F_2 = F_{vwx}$, σχήμα 7. Από την αντηρίδα η δύναμη αυτή μεταφέρεται και παραλαμβάνεται από το αγκύριο.

Επομένως η συνολική δύναμη η οποία ασκείται στο αγκύριο είναι:

$$F_{\Delta w} = -\ 313{,}30.C.\left(h.\sigma\varphi\omega + \frac{n.L}{2}\right) + F_T\ [N] \quad (22)$$

όπου n είναι ο συνολικός αριθμός των φατνωμάτων της κάθε σειράς στύλων.



Σχήμα 7. Φόρτιση των αγκυρώσεων των μεσαίων γραμμών

Επειδή η δύναμη $F_{\Delta w}$ είναι εξαιρετικά μεγάλη, η αγκύρωση πρέπει να κατασκευαστεί με ιδιαίτερη προσοχή, διότι ενδεχόμενη μετακίνηση του σημείου Δ προς την πλευρά του Β, σχήμα 7, θα προκαλέσει δευτερογενή καταπόνηση στον ακραίο στύλο επειδή θα αυξηθεί η γωνία $\alpha_{N,0}$ και επομένως και οι $N_{A,\tau+w}$ και $Q_{A,\tau+w}$.

2.3.1.1.2. Φόρτιση κατά τη διεύθυνση y -y (κάθετα στον άξονα της γραμμής)

Κατά τη διεύθυνση y - y αναπτύσσεται δράση τόσο από την κατακόρυφη όσο και από την οριζόντια συνιστώσα της ανεμοφόρτισης. Οι δράσεις από την ελαστική παραμόρφωση του τένοντα αλληλοεξουδετερώνονται .

Αξονική θλιπτική δύναμη

Είναι η υπολογιζόμενη κατά περίπτωση από τις εξισώσεις (19) και (21).

Τέμνουσα δύναμη

Επειδή οι δράσεις από την ελαστική παραμόρφωση του τένοντα αλληλοεξουδετερώνονται, η παραμένουσα οριζόντια δράση στην κεφαλή κάθε στύλου που θα ληφθεί υπόψη στους υπολογισμούς είναι:

$$Q_{A,w} = \pm 72{,}54.C.\frac{h.\sigma\varphi\omega + L}{2} \mp F_e\quad [N] \qquad (23)$$

2.3.1.2. Μεσαίοι στύλοι

2.3.1.2.1. Φόρτιση κατά τη διεύθυνση x-x

Οι μεσαίοι στύλοι των μεσαίων γραμμών αποτελούν ειδική περίπτωση των ακραίων στύλων για ω = φ = 90^0

Φόρτιση από την προέντανση του τένοντα και την κατακόρυφη συνιστώσα της ανεμοφόρτισης

Αξονική θλιπτική δύναμη

$$N_{A,\tau+w} = F_{vwt\mu}\cdot\left[\sigma\upsilon\nu^2\,\alpha_{N,0} + \eta\mu^2\,\alpha_{N,0}\right] = F_{vwt\mu} \qquad (24)$$

όπου:

$$F_{vw,\mu} = +\ 261{,}08.C.L\quad [N] \qquad (25)$$

για όλους του στύλους και

$$F_{vw,\mu} = +\ 261{,}08.C.\left(\frac{h.\sigma\varphi\omega}{2} + L\right)\quad [N] \qquad (26)$$

για τους παραακραίους στύλους.

Τέμνουσα δύναμη

Όταν από το δεξιό φάτνωμα αναπτύσσεται τέμνουσα $Q_{A,\tau+w}$, από το αριστερό αναπτύσσεται τέμνουσα $-Q_{A,\tau+w}$.

Επομένως για όλους τους στύλους είναι:

$$Q_{A,\tau+w,t} = 0 \qquad (27)$$

2.3.1.2.2. Φόρτιση κατά τη διεύθυνση y -y

Ισχύουν αναλογικά τα αναφερόμενα στην παράγραφο 2.3.1.1.2.

Αξονική θλιπτική δύναμη

Είναι η υπολογιζόμενη κατά περίπτωση από τις εξισώσεις (24) , (25) και (26).

Τέμνουσα δύναμη

$$Q_{A,w} = \pm 72{,}54.C.L \mp F_e\quad [N] \qquad (28)$$

Για τους παραακραίους στύλους ισχύει η ίδια σχέση όπου αντί του L τίθεται $\left(\frac{h.\sigma\varphi\omega}{2} + L\right)$.

2.3.2. Ακραίες γραμμές

2.3.2.1. Μεσαίοι στύλοι

2.3.2.1.1. Φόρτιση κατά τη διεύθυνση x-x

Ισχύουν ακριβώς οι υπολογισμοί των μεσαίων στύλων της μεσαίας σειράς οι οποίοι περιγράφονται στην § 2.3.1.2.1. με τις ίδιες τιμές των εντατικών μεγεθών.

Επειδή οι στύλοι των ακραίων γραμμών είναι κεκλιμένοι υπό γωνία ω΄ κατά τη διεύθυνση y-y, για να εξασφαλιστεί η ιασαποχή μεταξύ των τενόντων των γραμμών φύτευσης, οι στύλοι αυτοί θα κατασκευαστούν σε απόσταση C - h. σφω΄ από την παραακραία γραμμή.

2.3.2.1.2. Φόρτιση κατά τη διεύθυνση y -y

Ισχύουν κατ' αναλογία όσα αναπτύχθηκαν στις §§ 2.3.1.1.2. και 2.3.1.2.2.

2.3.2.1.2.1. Φόρτιση στην κεφαλή των στύλων

Αξονική θλιπτική δύναμη

Υπολογίζεται από τη σχέση:

$$N_{A,\tau+w} = F_{vw,\mu} + F_{A,\tau+w}\cdot\left(\eta\mu(\omega' - \varphi') + \sigma\upsilon\nu\omega'\right)\quad [N] \qquad (29)$$

όπου:

$$F_{A,T+w} = 72{,}54 . C . L + F'_T - F_e \quad [N] \qquad (30)$$

είναι συνολική οριζόντια δύναμη η οποία ασκείται στον κάθε στύλο και αναλαμβάνεται από το στύλο και το αγκύριο του.

Τέμνουσα δύναμη

$$Q_{A,T+w} = \left(72{,}54 . C . L + F'_T - F_e\right) . \left(\eta\mu\omega' - \sigma\upsilon\nu(\omega' - \varphi')\right) \ [N] \qquad (31)$$

2.3.2.1.2.2. Φόρτιση στην αγκύρωση των στύλων

Η συνολική δύναμη η οποία ασκείται στο κάθε αγκύριο είναι:

$$F_{\Delta wy} = N_{A,T+w} . \eta\mu(\omega' - \varphi') + Q_{A,T+w} . \sigma\upsilon\nu(\omega' - \varphi') \qquad (32)$$

2.3.2.2. Ακραίοι στύλοι

Σε κάθε άκρο των ακραίων γραμμών θα τοποθετηθούν δύο στύλοι, για την παραλαβή αντίστοιχα των φορτίσεων κατά τις διευθύνσεις x-x και y-y. Ο πρώτος θα είναι ίδιος με τους ακραίους στύλους των μεσαίων γραμμών και ο δεύτερος ίδιος με τους μεσαίους στύλους των ακραίων γραμμών.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Στον πίνακα 2 δίδονται οι τιμές των δράσεων για τις διάφορες κατηγορίες στύλων, για τα δεδομένα του πίνακα 1, για δύναμη προέντασης των τενόντων F_T = 5000 N, για κατασκευές που γίνονται στο εσωτερικό της χώρας.

Πίνακας 2. *Οι φορτίσεις στις κεφαλές των στύλων για δενδρώδεις καλλιέργειες στην ενδοχώρα*

Είδος προστασίας : Αντιχαλαζική			
Μεσαία Γραμμή			
Ακραίοι στύλοι	x-x	$N_{A,T+w} = 11287{,}47$ N	$Q_{A,T+w} = 2476{,}18$ N
	y-y	$N_{A,T+w} = 11287{,}47$ N	$Q_{A,T+w} = 111{,}54$ N
Μεσαίοι στύλοι	x-x	$N_{A,T+w} = 10443{,}15$ N	$Q_{A,T+w} = 0$
	y-y	$N_{A,T+w} = 10443{,}15$ N	$Q_{A,T+w} = 361{,}56$ N
Ακραία Γραμμή			
Ακραίοι στύλοι	x-x	$N_{A,T+w} = 11287{,}47$ N	$Q_{A,T+w} = 2476{,}18$ N
	y-y	$N_{A,T+w} = 10443{,}15$ N	$Q_{A,T+w} = 592{,}53$ N
Μεσαίοι στύλοι	x-x	$N_{A,T+w} = 10443{,}15$ N	$Q_{A,T+w} = 0{,}00$
	y-y	$N_{A,T+w} = 10443{,}15$ N	$Q_{A,T+w} = 592{,}53$ N

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Στην εργασία αυτή αναπτύχθηκε ένας μεθοδικός τρόπος υπολογισμού των φορτίσεων των στύλων των εγκαταστάσεων αντιχαλαζικής προστασίας των δενδρωδών καλλιεργειών.

Οι δράσεις, που λαμβάνονται υπόψη για τον υπολογισμό των υπόψη κατασκευών, είναι η ανεμοφόρτιση και η προένταση των τενόντων.

Για τα νησιά και τις παράκτιες ζώνες προκύπτουν ανάλογες σχέσεις αν αντί των σχέσεων 11 και 12 χρησιμοποιηθούν οι σχέσεις 9 και 10.

Οι σχέσεις 19 έως 32, που προέκυψαν, είναι γενικές και μπορούν να εφαρμοστούν σε κατασκευές με οποιαδήποτε γεωμετρία, σε κάθε περιοχή της ενδοχώρας, αρκεί να επιλεγούν κάθε φορά οι τιμές των γεωμετρικών και κλιματολογικών δεδομένων της εγκατάστασης και οι τιμές των δυνάμεων προέντασης των τενόντων. Επίσης μπορούν να εφαρμοστούν για στύλους από οποιοδήποτε υλικό ήτοι σκυρόδεμα, χάλυβα, ξύλο.

Οι υπόψη σχέσεις έχουν επιλυθεί με τη δημιουργία απλών φύλλων Excel τα οποία ενσωματώνονται στη συνέχεια ως υπορουτίνα στο συνολικό πρόγραμμα της μελέτης διαστασιολόγησης των στύλων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Περιοδικά

Briassoulis D, Mistriotis A, Eleftherakis D, 2007a. Mechanical behaviour and properties of agricultural HDPE nets, Part I – testing methods. Polymer Testing, 26, 822–832.

Briassoulis D, Mistriotis A, Eleftherakis D 2007b. Mechanical behaviour and properties of agricultural HDPE nets, part II – analysis. Polymer Testing, 26, 970 – 984.

Briassoulis D, Mistriotis A, 2010. Integrated structural design methodology for agricultural protecting structures covered with nets. Biosystems Engineering, 105, 205 – 220.

Κανονισμοί

EN 1991. Eurocode 1: Actions on structures, General actions. Part 1-1: Densities, self-weight, imposed loads for buildings, CEN, April 2002, Part 1- 3: Snow loads, CEN, July 2003, Part 1- 4: Wind actions, CEN, April 2005, Part 1-5: Thermal actions, CEN, Nov. 2003.

ΕΛ.Γ.Α., 2012. Προδιαγραφές εγκαταστάσεων αντιχαλαζικής και αντιβροχικής προστασίας καρποφόρων δένδρων και θάμνων, σελ. 9, Αθήνα.

Μονογραφίες

Θεοχάρης, Μ., 2000. Η εφαρμογή των Ευρωκώδικων στη μελέτη των Ελληνικών θερμοκηπίων, Μεταπτ. Διατρ., Τμ. Γεωπ. Φυτ. και Ζωικ. Παρ/γής Παν/μίου Θεσσαλίας, Βόλος, σελ. 215.

Μ. Θεοχάρης, 2012. Υπολογισμός των στύλων των εγκαταστάσεων αντιχαλαζικής και αντιβρο-χικής προστασίας στην Ελλάδα, Άρτα, σελ. 254.

Πρακτικά Συνεδρίων

Θεοχάρης, Μ., 2000. Η ανεμοφόρτιση των θερμοκηπιακών κατασκευών σύμφωνα με τους Ευρωκώδικες, Πρακτ. 2ου Πανελλ. Συν. Γεωργ. Μηχαν., Βόλος, σελ. 406-414.

Μ. Θεοχάρης, Χ. Μυριούνης και Α. Σιάνου, 2011. Οι φορτίσεις των θερμοκηπιακών κατασκευών στην Ελλάδα σύμφωνα με τους Ευρωκώδικες, Πρακτ. 7ου Πανελλ. Συν. Γεωργ. Μηχαν., Κωδ. Εργασ. 5.1, Αθήνα.

ΑΣΑΦΗ ΓΝΩΣΤΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ ΓΙΑ ΤΗ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΤΟΝ ΕΛΕΓΧΟ ΘΕΡΟΚΗΠΙΩΝ

Β. Μπουγά[1], Ι. Τρυπαναγνωστόπουλος[2] και Π. Γρουμπός[1]
[1]Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Υπολογιστών, Πάτρα Τ.Κ. 26500,
e-mail: v.k.bouga@ece.upatras.gr και groumpos@ece.upatras.gr
[2]Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Φυσικής, Πάτρα, Τ.Κ. 26500 e-mail:yiantrip@physics.upatras

Τα θερμοκήπια παρέχουν ένα κατάλληλο περιβάλλον για την εντατική παραγωγή διαφόρων ποικιλιών φυτών και σχεδιάζονται ώστε να ελέγχεται το μικροκλίμα τους, για την λήψη υψηλότερης ποιοτικά και ποσοτικά παραγωγής και την αύξηση του οικονομικού οφέλους του παραγωγού. Οι παράμετροι που επηρεάζουν την ανάπτυξη των φυτών και την παραγωγή ποικίλουν και πιο σημαντικές είναι η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας, η θερμοκρασία αέρα, η σχετική υγρασία, η συγκέντρωση CO_2 στον αέρα και η υγρασία και θερμοκρασία του εδάφους. Κατά τη διάρκεια των τελευταίων δύο δεκαετιών υπήρξε προσπάθεια για την επίτευξη του κατάλληλου κλίματος εντός των θερμοκηπίων και την μοντελοποίηση της παραγωγής, για την εξομοίωση, έλεγχο και βέλτιστη διαχείριση της όλης διαδικασίας. Όσο αυξάνει η πολυπλοκότητα των συστημάτων τόσο και η θεωρητική τους προσέγγιση γίνεται πιο δύσκολη. Μια νέα θεωρητική προσέγγιση στη μοντελοποίηση πολύπλοκων δυναμικών συστημάτων είναι τα Ασαφή Γνωστικά Δίκτυα (ΑΓΔ). Στο άρθρο αυτό χρησιμοποιείται για πρώτη φορά η θεωρία των ΑΓΔ για την μοντελοποίηση ενός θερμοκηπίου. Αναπτύσσεται ένα γενικευμένο μοντέλο που μπορεί να χρησιμοποιήσει όλες ή κάποιες από τις παραμέτρους, ανάλογα την εφαρμογή. Έτσι, ο αριθμός των κόμβων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στο προτεινόμενο νέο μοντέλο, μπορεί να ποικίλλει ώστε να μπορούν να αναλυθούν και μελετηθούν διαφορετικά συστήματα θερμοκηπίων. Θα παρουσιαστεί το νέο μοντέλο θερμοκηπίων, κάνοντας χρήση των ΑΓΔ και διεξοδικά αποτελέσματα προσομοιώσεων από αυτά..

Λέξεις κλειδιά: θερμοκήπιο, φωτοσύνθεση, έξυπνα συστήματα, ασαφή γνωστικά δίκτυα

MODELING GREENHOUSES USING FUZZY COGNITIVE MAPS

V. Bouga[1], Y.Tripanagnostopoulos[2] and P. Groumpos[1]
[1]University of Patras, Department of Electrical and Computer Engineering, Patras 26500,
e-mail: v.k.bouga@ece.upatras.gr and groumpos@ece.upatras.gr
[2] University of Patras, Department of Physics, Patras 26500, e-mail: yiantrip@physics.upatras

Greenhouses provide a suitable environment for the intensive production of different varieties of plants and are designed in order to control the microclimate for obtaining higher quality and quantity of production and increase the economic benefit of the producer. The parameters affecting plant growth and production vary and the most important of them are the intensity of solar radiation, air temperature, relative humidity, CO2 concentration in the air and moisture and soil temperature. During the last two decades there has been effort to achieve the appropriate climate within greenhouses and modeling production, for the simulation, control and optimal management of the entire process. As the complexity of such systems increases their theoretical approach becomes more difficult. A new theoretical approach to modeling complex dynamic systems is Fuzzy Cognitive Maps (FCMs). In this article the theory of FCMs is used for the first time for modeling a greenhouse. A general model is being developed that can use all or some of the parameters, depending on the application. The number of nodes which can be used in the proposed new model may vary so that different systems for greenhouses can be analyzed and studied. The new greenhouse model using FCMs and comprehensive simulation results for these new models are presented.

Key words: greenhouse, photosynthesis, intelligent systems, fuzzy cognitive maps

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σκοπός των θερμοκηπίων είναι η δημιουργία ενός σχετικά ελεγχόμενου περιβάλλοντος έτσι ώστε να μπορούν να καλλιεργηθούν φυτά με το βέλτιστο δυνατό τρόπο, ακόμα και αν οι συνθήκες του συγκεκριμένου τόπου δεν ευνοούν τη συγκεκριμένη καλλιέργεια. Στα θερμοκήπια ρυθμίζονται αρκετοί περιβαλλοντικοί παράγοντες, για να βοηθηθεί η ανάπτυξη των φυτών ενώ οι βασικές διαδικασίες που πρέπει να ελέγχονται για τη βέλτιστη λειτουργία του είναι ο αερισμός και η θέρμανση.

Η κλίμακα ελέγχου παρουσιάζει μια σαφή τάση, από τον έλεγχο του μακροκλίματος στον έλεγχο σε επίπεδο μικροκλίματος του θερμοκηπίου. Ο βέλτιστος σχεδιασμός του θερμοκηπίου και ο έλεγχος του περιβάλλοντός του, αντιπροσωπεύουν ένα πρόβλημα βελτιστοποίησης όπου η εκμετάλλευση πληροφοριών τόσο για τα φυσικά όσο και για τα τεχνοοικονομικά στοιχεία που εμπλέκονται στην παραγωγή αποτελεί μονόδρομο στην επίλυση του συγκεκριμένου προβλήματος, Οι μέθοδοι προσομοίωσης για πρόβλεψη του περιβάλλοντος του θερμοκηπίου, παρέχουν μια γρήγορη, ευέλικτη και επαναλαμβανόμενη μέθοδο έναντι των πειραματικών προβλέψεων.

Κατά τη διάρκεια των τελευταίων δύο δεκαετιών υπήρξε προσπάθεια για την επίτευξη του κατάλληλου κλίματος εντός των θερμοκηπίων και τη μοντελοποίηση της παραγωγής, για την εξομοίωση, έλεγχο και βέλτιστη διαχείριση της όλης διαδικασίας. Σύγχρονα πολύπλοκα συστήματα οποιασδήποτε φύσης, με δυσκολία μπορούν να μοντελοποιηθούν, να αναλυθούν ή/και να ελεγχθούν χωρίς την επαρκή χρήση της θεωρητικής προσέγγισής τους. Η πολυπλοκότητα και αβεβαιότητα των σύγχρονων και πολύπλοκων δυναμικών συστημάτων καθιστά την ανάλυσή τους συνυφασμένη με τη διαχείριση της γνώσης των εμπειρογνωμόνων και την προσομοίωση των μοντέλων ελέγχου. Όσο αυξάνει η πολυπλοκότητα των συστημάτων τόσο και η θεωρητική τους προσέγγιση γίνεται πιο δύσκολη. Μια νέα θεωρητική προσέγγιση στη μοντελοποίηση πολύπλοκων δυναμικών συστημάτων είναι τα Ασαφή Γνωστικά Δίκτυα (ΑΓΔ), τα οποία είναι μια συμβολική αναπαράσταση για την περιγραφή και τη μοντελοποίηση του συστήματος.Τα ΑΓΔ αποτελούνται από κόμβους, οι οποίοι αντιπροσωπεύουν τις διαφορετικές παραμέτρους που επηρεάζουν το σύστημα και επιπλέον οι κόμβοι αλληλεπιδρούν μεταξύ τους, αποτυπώνοντας έτσι την δυναμική του συστήματος.

Στο άρθρο αυτό χρησιμοποιείται για πρώτη φορά η θεωρία των ΑΓΔ για τη μοντελοποίηση του περιβάλλοντος ενός θερμοκηπίου. Αναπτύσσεται ένα γενικευμένο μοντέλο που μπορεί να χρησιμοποιήσει όλες ή κάποιες από τις παραμέτρους, ανάλογα την εφαρμογή. Θα παρουσιαστεί το νέο μοντέλο θερμοκηπίων κάνοντας χρήση των ΑΓΔ καθώς επίσης και διεξοδικά αποτελέσματα προσομοιώσεων για αυτά τα νέα μοντέλα. Ως παράμετρος ένδειξης της παραγωγής δηλαδή ως έξοδος του συστήματος ελήφθη η φωτοσύνθεση των φυτών ύστερα από εκτενή συζήτηση με εμπειρογνώμονες του θέματος.

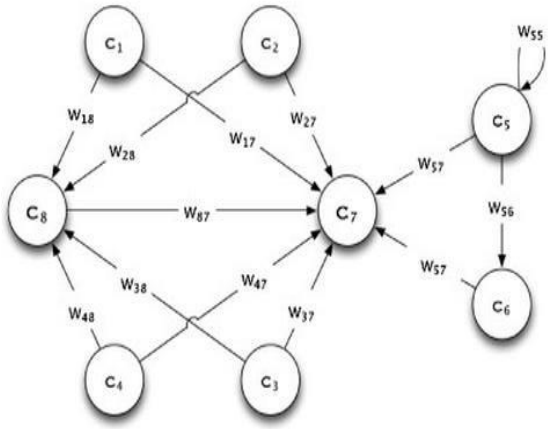
2. ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΚΛΙΜΑΤΟΣ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ.

Τις τελευταίες δεκαετίες έχουν γίνει αρκετές προσπάθειες για τη μοντελοποίηση του μικροκλίματος των θερμοκηπίων. Οι περισσότεροι ερευνητές επικεντρώθηκαν σε μια μοναδική γεωγραφική περιοχή και σε ένα περιορισμένο και συγκεκριμένο είδος κατασκευής ή μέσων τροποποίησης των συνθηκών του κλίματος του θερμοκηπίου Baptista, F. J. (2007). Μια προσπάθεια για μοντελοποίηση του περιβάλλοντος ενός θερμοκηπίου η οποία θα μπορούσε να εφαρμοστεί σε διαφορετικά κατασκευαστικά μοντέλα και σε διαφορετικές κλιματολογικές συνθήκες πραγματοποιήθηκε από τους Fitz-Rodrı´guez et al. (2010) για εκπαιδευτικούς όμως μόνο λόγους. Προς την κατεύθυνση της γενίκευσης κατευθύνθηκαν και οι B.H.E Vontour et al.(2011) οι οποίοι στηριζόμενοι στα μοντέλα των Bot (1983) και De Zwart (1996) ανέπτυξαν ένα πιο γενικό μοντέλο το οποίο και εφάρμοσαν σε τρία διαφορετικά είδη κλίματος και κατάφεραν να προβλέψουν με σχετικά καλή ακρίβεια το μικροκλίμα του θερμοκηπίου στις περισσότερες περιπτώσεις. Λόγω της μη γραμμικότητας του περιβάλλοντος ενός θερμοκηπίου έχει γίνει εφαρμογή των Νευρωνικών Δικτύων στη μοντελοποίηση του μικροκλίματος του θερμοκηπίου Ferreira et al. (2002). Τέλος αξίζει να σημειωθεί ότι αρκετοί ερευνητές στράφηκαν στον ασαφή έλεγχο προκειμένου να μοντελοποιήσουν και να ελέγξουν το κλίμα στο εσωτερικό ενός θερμοκηπίου Castaneda-Miranda et al,(2006).

3. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΤΩΝ ΑΣΑΦΩΝ ΓΝΩΣΤΙΚΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ.

Τα Ασαφή Γνωστικά Δίκτυα (ΑΓΔ) προήλθαν ως συνδυασμός ιδεών και μεθόδων της ασαφούς λογικής και των νευρωνικών δικτύων [Kosko B. (1986)].

Τα ΑΓΔ μπορούν να απεικονιστούν σχηματικά με ένα δίκτυο το οποίο αποτελείται από κόμβους που είναι διασυνδεδεμένοι μεταξύ τους με προσημασμένες συνδέσεις. Κάθε μία από αυτές τις συνδέσεις φέρει ένα βάρος διασύνδεσης. Οι κόμβοι αντιπροσωπεύουν τις έννοιες που χρησιμοποιούνται για να περιγράψουν τη συμπεριφορά του συστήματος και συνδέονται μεταξύ τους με σταθμισμένα τόξα που αντιπροσωπεύουν τις αιτιατές διασυνδέσεις που υπάρχουν μεταξύ των κόμβων-εννοιών. Τα ΑΓΔ έχουν χρησιμοποιηθεί για τη μοντελοποίηση πολύπλοκων συστημάτων [Groumpos and Stylios (2000),Stylios and Groumpos(2004)]. Στο Σχήμα 1 φαίνεται ο τρόπος με τον οποίο γίνεται η γραφική απεικόνιση των ασαφών Γνωστικών Δικτύων:



Σχήμα 1: Σχηματική απεικόνιση των Ασαφών Γνωστικών Δικτύων.

Η αριθμητική τιμή του βάρους κάθε διασύνδεσης W_{ij} μεταξύ των κόμβων C_i και C_j δείχνει το βαθμό που συσχετίζεται η τιμή της μεταβλητής του ενός κόμβου, με τον υπολογισμό της μεταβλητής του αλληλοσυνδεόμενου κόμβου. Η αριθμητική τιμή κάθε βάρους διασύνδεσης W_{ij} ανήκει στο διάστημα [-1,1] και υποδεικνύεται από τους ειδικούς και έμπειρους γνώστες του εξεταζόμενου συστήματος. Θεωρείται ότι δεν μπορεί να υπάρχει αιτιατή σχέση μεταξύ ενός κόμβου και του εαυτού του και συνεπώς $W_{ii}=0$. Επίσης οι εμπειρογνώμονες είναι υπεύθυνοι για την περιγραφή των λεκτικών μεταβλητών, οι οποίες στη συνέχεια μετατρέπονται σε αριθμητικές τιμές. Έτσι οι

κόμβοι παίρνουν τιμές μεταξύ [0,1]. Όταν το Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο αναπτυχθεί, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την περιγραφή και προσομοίωση του συστήματος , τη συμπεριφορά του οποίου μοντελοποιεί. Για να υπολογιστεί η τιμή της μεταβλητής κάθε κόμβου σε κάθε βήμα προσομοίωσης χρησιμοποιούμε τη σχέση:

$$A_i^t = f\left(\sum_{\substack{j=1 \\ j\neq i}}^{N} A_j^{t-1} \cdot W_{ji} + A_i^{t-1}\right) \quad [1]$$

Το A_i^{t-1} είναι η τιμή του κόμβου C_i τη χρονική στιγμή t-1, και το A_i^t είναι η τιμή του κόμβου C_i τη χρονική στιγμή t. Έτσι το Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο οδηγείται ομαλά στο επιθυμητό σημείο ισορροπίας. Επίσης με αυτό τον τρόπο γίνεται μια ομαλή μετάβαση από τη μια τιμή στην άλλη, αφού ο κάθε κόμβος χαρακτηρίζεται από μνήμη ενός βήματος.

Η συνάρτηση συμπίεσης f που θα επιλεγεί, εξαρτάται από τη μέθοδο που θα χρησιμοποιηθεί για να περιγράψει τους κόμβους. Η πιο συνηθισμένη συνάρτηση συμπίεσης είναι η σιγμοειδής που έχει την παρακάτω μορφή:

$$f(x) = \frac{1}{1+e^{-\lambda x}} \quad [2]$$

όπου το λ καθορίζει την κύρτωση της σιγμοειδούς συνάρτησης f και είναι πάντα θετικό.

4. ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ ΑΣΑΦΩΝ ΓΝΩΣΤΙΚΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΣΤΑ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑ.

Σε αυτή την ενότητα το Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο για ένα θερμοκήπιο έχει κατασκευαστεί. Το σύστημά μας θα έχει έξι κόμβους (C1, C2, C3 C4, C5, C6) και έναν κόμβο-έξοδο που είναι η φωτοσύνθεση (C7):

C1: Ένταση ηλιακής ακτινοβολίας
C2: Τεχνητή θέρμανση
C3: Κίνηση αέρα
C4: Θερμοκρασία
C5: Υγρασία
C6: CO_2
C7: Φωτοσύνθεση

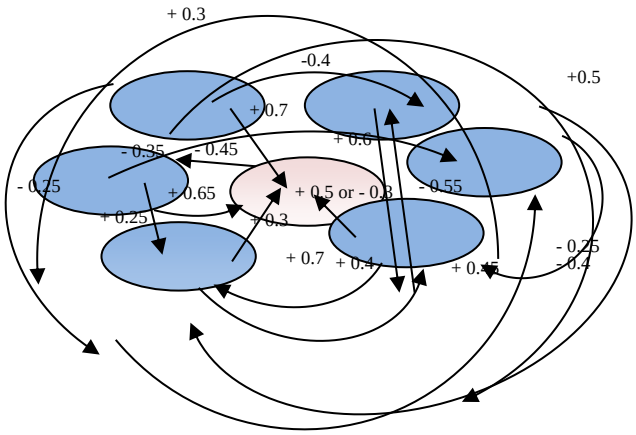
Όπως έχει αναφερθεί η φωτοσύνθεση αποτελεί ουσιαστικό παράγοντα ένδειξης της ανάπτυξης των φυτών και για αυτό το λόγο χρησιμοποιήθηκε ως έξοδος. Η τιμή της εξόδου τείνει στη μονάδα όσο μεγαλύτερο είναι το ποσοστό της φωτοσύνθεσης.

Τα βάρη των διασυνδέσεων έχουν υπολογιστεί ύστερα από τη συμβολή ενός εμπειρογνώμονα ο οποίος κατέθεσε την άποψή του για το πώς ο κάθε κόμβος επηρεάζει τον άλλο αλλά και την έξοδο του συστήματος. Με τον τρόπο αυτό κατασκευάστηκε η μήτρα των βαρών διασύνδεσης και τα βάρη δίνονται στον παρακάτω πίνακα:

$$W = \begin{bmatrix} 0 & -0.4 & 0 & +0.5 & -0.25 & 0 & +0.7 \\ 0 & 0 & 0 & +0.6 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -0.25 & -0.4 & +0.3 & 0 \\ 0 & -0.55 & 0 & 0 & +0.7 & 0 & -0.3(or+0.5) \\ 0 & 0 & 0 & +0.45 & +0.4 & 0 & +0.3 \\ 0 & 0 & -0.35 & 0 & +0.25 & 0 & +0.65 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -0.45 & 0 \end{bmatrix}$$

Πίνακας 1: Πίνακας βαρών διασύνδεσης

Το αρχικό Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο με τις τιμές των βαρών δίνεται παρακάτω:



Σχήμα 2: Το Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο

Το μοντέλο του Σχήματος 2 θα χρησιμοποιηθεί στην επόμενη παράγραφο για να προβλεφθεί η φωτοσύνθεση εισάγοντας δεδομένα που δόθηκαν από θερμοκηπιακούς καλλιεργητές της Δυτικής Ελλάδας.

5. ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΙΣ-ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Τρεις διαφορετικές περιπτώσεις συνθηκών που επικρατούν στο θερμοκήπιο θα προσομοιωθούν προκειμένου να διαπιστώσουμε το ποσοστό της φωτοσύνθεσης που θα έχουμε τελικά.

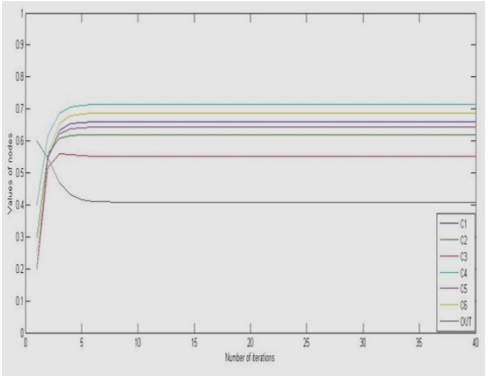
1η περίπτωση: Υποθέτουμε πως οι συνθήκες που επικρατούν στο θερμοκήπιο είναι οι παρακάτω:

C1	0.2/1 → Very Low
C2	0.3/1 → Low
C3	0.2/1 → Very Low
C4	0.4/1 → Medium
C5	0.2/1 → Very Low
C6	0.25/1 → Very Low

Πίνακας 2: Πίνακας με τις τιμές εισόδου για την πρώτη περίπτωση.

Λαμβάνοντας υπόψιν το Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο όπως αυτό διαμορφώθηκε ύστερα από τη συμβολή του εμπειρογνώμονά μας πήραμε τα παρακάτω αποτελέσματα όπου η τιμή της εξόδου διαμορφώθηκε C7=0.4: Η τιμή αυτή, σύμφωνα με τον

εμπειρογνώμονα, είναι αρκετά ικανοποιητική με δεδομένο το γεγονός ότι οι τιμές των κόμβων αντιστοιχούν σε άσχημες συνθήκες και άρα αναμενόταν χαμηλό ποσοστό φωτοσύνθεσης.



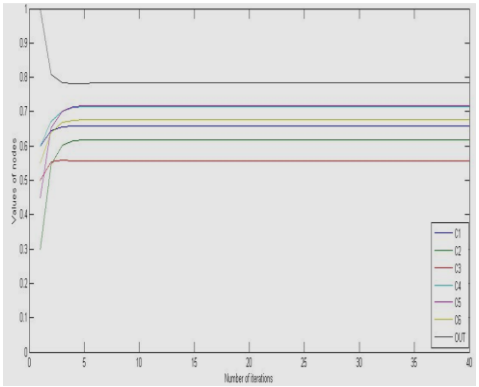
Σχήμα 3: Γραφική παράσταση για την προσομοίωση της 1ης περίπτωσης.

2η περίπτωση: Υποθέτουμε πως οι συνθήκες που επικρατούν στο θερμοκήπιο είναι οι παρακάτω:

C1	0.6/1 → High
C2	0.3/1 → Low
C3	0.5/1 → Medium
C4	0.6/1 → High
C5	0.45/1 → Medium
C6	0.55/1 → Medium

Πίνακας 3: Πίνακας με τις τιμές εισόδου για την δεύτερη περίπτωση.

Προσομοιώνοντας τις παραπάνω συνθήκες πήραμε τα παρακάτω αποτελέσματα με έξοδο την τιμή C7=0.780, η οποία λόγω των πολύ καλών συνθηκών του μικροκλίματος του θερμοκηπίου είναι πού καλή και αντιπροσωπεύει υψηλά ποσοστά φωτοσύνθεσης.



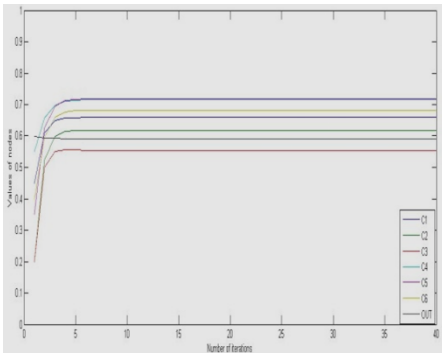
Σχήμα 4: Γραφική παράσταση για την προσομοίωση της 2ης περίπτωσης.

3η περίπτωση: Τέλος, υποθέτουμε πως οι συνθήκες που επικρατούν στο θερμοκήπιο είναι οι παρακάτω:

C1	0.45/1 → Medium
C2	0.2/1 → Low
C3	0.2/1 → Low
C4	0.55/1 → Medium
C5	0.35/1 → Low
C6	0.4/1 → Medium

Πίνακας 4: Πίνακας με τις τιμές εισόδου για την τρίτη περίπτωση.

Πήραμε τα παρακάτω αποτελέσματα και ως έξοδο την τιμή C7=0.59, που είναι πολύ λογική, σύμφωνα με τον ειδικό που συμβουλευτήκαμε, καθώς οι τιμές στου κόμβους αντιπροσωπεύουν υποβέλτιστες αλλά όχι χείριστες συνθήκες.



Σχήμα 5: Γραφική παράσταση για την προσομοίωση της 3ης περίπτωσης.

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Αυτή η εργασία δείχνει ότι η χρήση προηγμένων τεχνικών για τη μοντελοποίηση των θερμοκηπίων είναι ικανοποιητική. Για πρώτη φορά τα ΑΓΔ που χρησιμοποιήσαμε δίνουν απλά μοντέλα ενώ οι προσομοιώσεις είναι εύληπτες, εύχρηστες και δίνουν ένα νέο τρόπο μελέτης και ανάλυσης της καλής λειτουργίας του θερμοκηπίου. Πρέπει, παρόλα αυτά, να έχουμε πιο πολλούς εμπειρογνώμονες για καλύτερη προσέγγιση του μοντέλου του μικροκλίματος του θερμοκηπίου οι οποίοι πιθανώς θα πρότειναν επιπλέον κόμβους προκειμένου το μοντέλο μας να γίνει πιο ακριβές. Επίσης, η χρήση αλγορίθμων εκμάθησης είναι αναγκαία για να μελετηθεί η διαδικασία των θερμοκηπίων και εξαχθούν ακριβέστερα αποτελέσματα. Με τον τρόπο αυτό θα δίνεται η δυνατότητα καλύτερου ελέγχου των τεχνητών μέσων προκειμένου να επιτευχθούν οι καλύτερες δυνατές συνθήκες στο εσωτερικό του θερμοκηπίου. Αυτά τα θέματα θα είναι αντικείμενα μελλοντικής μας ερευνητικής προσπάθειας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Baptista, F. J. 2007. Modelling the climate in unheated tomato greenhouses and predicting Botrytis cinerea infection. PhD Thesis, E ´vora University, 180pp.

Bot, G. P. A. 1983. Greenhouse climate: from physical processes to a dynamic model. PhD thesis, Wageningen University, 240pp.

Castaneda-Miranda, R., E. Jr. Ventura-Ramos, R.R. Peniche-Vera and G. Herrera-Ruiz, 2006. Fuzzy greenhouse climate control system based on a field programmable gate array. Biosyst. Eng., 94: 165-177

De Zwart, H. F. 1996. Analyzing energy-saving options in greenhouse cultivation using a simulation model. Wageningen: Wageningen University.

P.M. Ferreira, E.A. Faria, A.E. Ruano 2002, Neural network models in greenhouse air temperature prediction. Neurocomputing, Volume 43, Issues 1–4, March 2002, Pages 51–75

Fitz-Rodrı´guez, E., Kubota, C., Giacomelli, G. A., Tignor, M. E., Wilson, S. B., & McMahon, M. 2010. Dynamic modeling and simulation of greenhouse environments under several scenarios: a web-based application. Computers and Electronics in Agriculture, 70(1), 105e116.

P.P. Groumpos, C.D. Stylios, 2000. Modeling supervisory control systems using fuzzy cognitive maps, Chaos Solit Fract. 11(3), 329–336

Kosko B. (1986) “Fuzzy Cognitive Maps”, Int. Journal of Man-Machine Studies, Vol. 24, pp. 65-75,

C.D. Stylios, P.P. Groumpos, 2004. Modeling complex systems using fuzzy cognitive maps, IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Part A: Systems and Humans 34, 155–162.

B.H.E. Vanthoor a,b, C. Stanghellini a, E.J. van Henten a,b,*, P.H.B. de Visser 2011. A methodology for model-based greenhouse design Part 1, Biosystems Engineering Volume 110, Issue 4, December 2011, Pages 363–377.

ΘΕΡΜΑΝΣΗ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΩΝ ΜΕ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΥΠΕΡΥΘΡΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ (IR)

Αγγελική Καυγά[1], Θράσος Πανίδης[2]
[1]Εργαστήριο Τεχνολογίας Θερμοκηπίων, Τμήμα Θερμοκηπιακών Καλλιεργειών και Ανθοκομίας, ΤΕΙ Μεσολογγίου, Νέα Κτήρια, 30200 Μεσολόγγι
[2]Εργαστήριο Τεχνικής Θερμοδυναμικής, Τμήμα Μηχανολόγων και Αεροναυπηγών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Πατρών, Πανεπιστημιούπολις, 26504 Πάτρα

Οι δαπάνες για θέρμανση θερμοκηπίων αποτελούν μια από τις σημαντικότερες συνιστώσες του κόστους καλλιέργειας, με σημαντική συνεισφορά στο περιβαλλοντικό αποτύπωμα. Η θερμότητα παρέχεται στα θερμοκήπια συνήθως μέσω συμβατικών συστημάτων θέρμανσης, και σε περιορισμένη έκταση με χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Για να διατηρηθούν τα φυτά στην βέλτιστη θερμοκρασία καλλιέργειας, το εσωτερικό του θερμοκηπίου πρέπει να θερμανθεί στην ίδια ή υψηλότερη θερμοκρασία, δημιουργώντας ισοθερμοκρασιακό κλίμα σε ολόκληρο το θερμοκήπιο. Το αποτέλεσμα αυτής της προσέγγισης είναι θερμική στρωματοποίηση και σημαντικές απώλειες θερμότητας λόγω της μικρής θερμομονωτικής ικανότητας του καλύμματος Η χρήση υπέρυθρης ακτινοβολίας (IR) για θέρμανση θερμοκηπίων αποτελεί αξιόπιστη εναλλακτική επιλογή. Αυτό διότι θερμαίνεται στην απαιτούμενη θερμοκρασία μόνο η περιοχή του φυτικού θόλου (τοπικό κλίμα), ενώ ο αέρας του θερμοκηπίου παραμένει σε θερμοκρασία 3-5°C χαμηλότερη με συνέπεια η στρωματοποίηση του εσωτερικού αέρα είναι σημαντικά χαμηλότερη από αυτή που παρατηρείται στην θέρμανση με συμβατικά συστήματα. Γι' αυτό το λόγο, οι ενεργειακές απώλειες από την δομή του θερμοκηπίου μειώνονται σημαντικά λόγω μείωσης των απωλειών με συναγωγή και ακτινοβολία από το κάλυμμα και λόγω διαφυγών, καταλήγοντας σε σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας της τάξεως του 40-50% (ψυχρό θερμοκήπιο). Η υπάρχουσα τεχνολογία επιτρέπει πλέον αποτελεσματική εφαρμογή συστημάτων θέρμανσης υπέρυθρης ακτινοβολίας σε μεγάλης κλίμακας θερμοκήπια παραγωγής. Πρόσφατα σύστημα υπέρυθρης ακτινοβολίας εφαρμόστηκε σε εμπορικό θερμοκήπιο παραγωγής σποροφύτων. Πεδίο αναφοράς αποτελεί ένα θερμοκήπιο της εταιρείας Γεωπονική Α.Ε. κατασκευασμένο από την ΑΓΡΕΚ Κ. Σαμαντούρος Α.Ε και εξοπλισμένο με υπέρυθρο σύστημα θέρμανσης τροφοδοτούμενο με καύσιμο LPG από την εταιρεία Natural gas, που λειτουργεί στο Κορωπί Αττικής.

Λέξεις κλειδιά: θερμοκήπιο, συστήματα θέρμανσης, υπέρυθρη ακτινοβολία, εξοικονόμηση ενέργειας

GREENHOUSE HEATING WITH INFRA-RED RADIATION (IR) SYSTEMS

Angeliki Kavga[1], Thrassos Panidis[2]
[1]Laboratory of Greenhouse Technology, Department of Greenhouse Crops and Floriculture, Technological Educational Institution of Messolonghi, Nea Ktiria, GR-30200 Messolonghi, Greece
[2] Laboratory of Applied Thermodynamics, Mechanical Engineering & Aeronautics Department, University of Patras, Panepistimioupolis, GR-26504Patras, Greece
akavga@teimes.gr, panidis@mech.upatras.gr

Heating constitutes one of the major costs for greenhouse operators with a significant contribution to the environmental footprint. Heat is usually provided in greenhouses through conventional heating systems, and to a limited extent through renewable energy sources. To maintain the optimum temperature in plants cultivation, the interior of the greenhouse must be heated at the same or higher temperature, creating isothermal environment throughout the greenhouse (whole climate). The result of this approach is thermal stratification and significant losses due to the low heat insulating capacity of the greenhouse cover. The use of infrared (IR) for greenhouse heating is a reliable alternative. This is because only the region of the plant canopy is heated to the required temperature (local climate), while the air inside the greenhouse remains at a temperature 3-5 °C lower. As a result, stratification of the air is considerably lower than that observed in conventional heating systems. Therefore energy losses from the structure are significantly reduced due to the reduction of losses by convection and radiation from the cover and due to leakage, resulting in significant energy savings of 40-50% (cold greenhouse). Existing technology enables more efficient application of infrared radiation heating systems in large-scale productive greenhouses. Recently an IR system was applied in a commercial greenhouse producing vegetable seedlings. The reference testbed is a greenhouse manufactured by AGREK K. Samantouros Company, equipped with LPG fired IR radiators by Natural Gas Company, and operated in Koropi, Attica by Geoponiki Company.

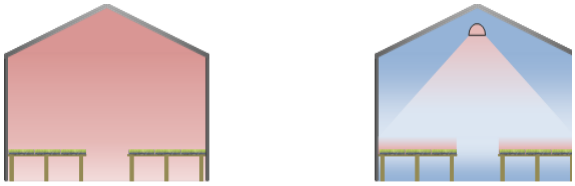
Key words: greenhouse, heating systems, infra-red radiation, energy saving

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η κατανάλωση ενέργειας για τη θέρμανση θερμοκηπίων αποτελεί μια από τις σημαντικότερες συνιστώσες του κόστους καλλιέργειας (De Pascale and Maggio, 2004). Η θερμότητα παρέχεται στα θερμοκήπια συνήθως μέσω συμβατικών συστημάτων θέρμανσης (σωληνώσεις θερμού νερού, συστήματα θερμού αέρα εξαναγκασμένης συναγωγής) (Barztanas et al, 2006). Για να διατηρηθούν τα φυτά στην βέλτιστη θερμοκρασία καλλιέργειας, το εσωτερικό του

θερμοκηπίου πρέπει να θερμανθεί στην ίδια ή υψηλότερη θερμοκρασία, δημιουργώντας ισοθερμοκρασιακό κλίμα σε ολόκληρο το θερμοκήπιο (όλον κλίμα). Το αποτέλεσμα αυτής της προσέγγισης είναι ότι, τα θερμοκήπια λόγω και της κατασκευής τους, παρουσιάζουν ιδιαίτερα υψηλές ενεργειακές απαιτήσεις σε σχέση με την ενέργεια που χρειάζονται τα φυτά (Tiwari, 2003).

Η χρήση υπέρυθρης ακτινοβολίας (IR) για θέρμανση θερμοκηπίων μπορεί να αποτελέσει αξιόπιστη εναλλακτική επιλογή σε σχέση με τις προαναφερθείσες συμβατικές μεθόδους θέρμανσης, όπως έχει δείξει προηγούμενη εκτεταμένη μελέτη σε μικρής κλίμακας πειραματικά θερμοκήπια (Kavga et al. 2009, 2012). Σε αυτήν την μελέτη αναπτύχθηκε μια ολοκληρωμένη πρόταση για την δημιουργία ενός «ψυχρού θερμοκηπίου» στο οποίο τα φυτά λαμβάνουν απευθείας την ενέργεια που χρειάζονται, προκειμένου να φτάσουν και να διατηρήσουν την επιθυμητή για την ανάπτυξή τους θερμοκρασία, χωρίς να υπάρχει ανάγκη για αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα του θερμοκηπίου. Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκε σύστημα θέρμανσης με υπέρυθρη ακτινοβολία. Σε αυτά τα συστήματα η θερμότητα μεταδίδεται απευθείας από την πηγή στον δέκτη, στην προκειμένη περίπτωση στα φυτά και το έδαφος, που διατηρούνται σε υψηλότερη θερμοκρασία από τον αέρα μέσα στο θερμοκήπιο με αποτέλεσμα τη δημιουργία ισοθερμοκρασιακού κλίματος μόνο στην περιοχή του φυτικού θόλου (τοπικό κλίμα). Ο αέρας δεν θερμαίνεται απ' ευθείας από την ακτινοβολία, αλλά με συναγωγή λόγω της επαφής του με τα φυτά και το έδαφος που θερμαίνονται άμεσα (Εικόνα 1). Η στρωματοποίηση του εσωτερικού αέρα (διαφορά μεταξύ της θερμοκρασίας εδάφους και θερμοκρασίας οροφής) είναι σημαντικά χαμηλότερη από αυτή που παρατηρείται σε συστήματα θερμού αέρα εξαναγκασμένης συναγωγής (Kavga et al, 2009). Γι' αυτό το λόγο, οι ενεργειακές απώλειες από την δομή του θερμοκηπίου μειώνονται σημαντικά λόγω μείωσης των απωλειών με συναγωγή και ακτινοβολία από το κάλυμμα και λόγω διαφυγών, καταλήγοντας σε σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας της τάξεως του 40-50% (Kavga et al, 2012). Επίσης επιτυγχάνεται σημαντική μείωση της υγρασίας της επιφάνειας των φυτών, γεγονός που βοηθά στην μείωση της εξάπλωσης ασθενειών που είναι σοβαρότατο πρόβλημα εντός των θερμοκηπίων (Teitel et al, 2000).



Εικόνα 1: Διαφορά συμβατικών συστημάτων και συστημάτων υπέρυθρης ακτινοβολίας

Σήμερα η υπάρχουσα τεχνολογία επιτρέπει πλέον αποτελεσματική εφαρμογή συστήματος θέρμανσης υπέρυθρης ακτινοβολίας σε μεγάλης κλίμακας θερμοκήπια παραγωγής.

Σκοπός της παρούσας μελέτης είναι η ανάλυση και παρουσίαση των αποτελεσμάτων από την εφαρμογή συστήματος υπέρυθρης θέρμανσης σε εμπορικό θερμοκήπιο παραγωγής σποροφύτων. Πεδίο αναφοράς αποτελεί ένα τέτοιο θερμοκήπιο της εταιρείας Γεωπονική Α.Ε., κατασκευασμένο από την ΑΓΡΕΚ Κ. Σαμαντούρος Α.Ε και εξοπλισμένο με υπέρυθρο σύστημα θέρμανσης τροφοδοτούμενο με καύσιμο LPG από την εταιρεία Natural gas, που λειτουργεί στο Κορωπί Αττικής

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

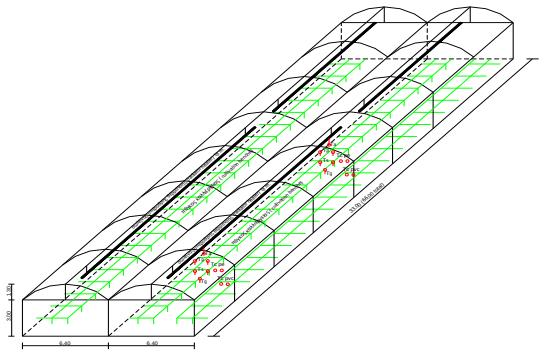
Ένα τροποποιημένο τοξωτό θερμοκήπιο "MULTISPAN" (πλάτος 12.80 m, άνοιγμα αψίδων 6.40m, ύψος ορθοστάτη 3.00m, ύψος κορφιά 4.30m, μήκος 66m) χρησιμοποιείται ως πειραματικό πεδίο εφαρμογής. Η συνολική επιφάνεια εδάφους (Ap) είναι 845 m^2, η επιφάνεια καλύμματος 1401 m^2 και ο όγκος (V) 3085 m^3. Ο σκελετός αποτελείται από χαλύβδινα κατασκευαστικά στοιχεία, διαφόρων διατομών σύμφωνα με Ευρωπαϊκές προδιαγραφές. Η κάλυψη της οροφής γίνεται από διπλό φιλμ πολυαιθυλενίου PE, με στρώμα αέρος, πάχους 180 μm, ενώ περιμετρικά το θερμοκήπιο και μέχρι ύψος 1.20 m είναι κατασκευασμένο από σκληρό πλαστικό (PVC). Το θερμοκήπιο χρησιμοποιείται για την ανάπτυξη σποροφύτων τα οποία καλλιεργούνται σε πάγκους καλλιέργειας 1.0 m πάνω από το έδαφος του θερμοκηπίου (εικόνα 2).

Εικόνα 2: Παραγωγικό θερμοκήπιο σποροφύτων

Σύμφωνα με τις εκτιμώμενες μέγιστες ενεργειακές απαιτήσεις του θερμοκηπίου, το θερμοκήπιο εξοπλίστηκε με υπέρυθρο σύστημα θέρμανσης τροφοδοτούμενο με καύσιμο LPG. Το σύστημα αποτελείται από (6) υπέρυθρους σωλήνες, τύπου INFRA MONOTUBO 18MI, θερμικής ικανότητας 45KW

έκαστος, τοποθετημένοι σε ύψος 3.0 m από την επιφάνεια των φυτών (εικόνα 3). Για τις παρούσες καλλιέργειες σποροφύτων η επιθυμητή θερμοκρασία ορίστηκε σε Tplants=16±1ºC, και η λειτουργία του συστήματος καθοριζόταν από θερμοστάτη περιοχής.

Οι παράμετροι του μικροκλίματος μέσα στο θερμοκήπιο που καταγράφονται από θερμοζεύγη, είναι οι θερμοκρασίες σε διάφορες θέσεις στην επιφάνεια των φυτών καθώς και στο έδαφος καλλιέργειας, στον αέρα του θερμοκηπίου, στο έδαφος κάτω από τον πάγκο καλλιέργειας, και στην επιφάνεια του εσωτερικού και εξωτερικού πλαϊνού καλύμματος και του καλύμματος οροφής (εικόνα 4). Επίσης καταγράφονται η σχετική υγρασία του θερμοκηπίου (RH) και οι ροές ακτινοβολίας.



Εικόνα 3: 3D κάτοψη του θερμοκηπίου

Τα πειράματα διεξήχθησαν στο1/6 του θερμοκηπίου και σε φυτική επιφάνεια 120 m² που καλυπτόταν θερμαντικά από τον ένα από τους 6 σωλήνες υπέρυθρης ακτινοβολίας. Πιο συγκεκριμένα δημιουργήθηκαν 2 σταθμοί πειραμάτων, τοποθετημένοι σε απόσταση 3m από τις άκρες του σωλήνα θέρμανσης. Σε αυτούς τους 2 σταθμούς πειραμάτων τα θερμοζεύγη (τύπου T, Cu(+)/Constantan(-), διαμέτρου 0.5 mm), τοποθετήθηκαν ως εξής (εικόνα 3):

- 2 θερμοζεύγη στην επιφάνεια των φυτών (στους πάγκους καλλιέργειας) για να μετράται η θερμοκρασία των φυτών (Tplants)
- 2 θερμοζεύγη στις αντίστοιχες θέσεις 1cm μέσα στο pot καλλιέργειας για να μετράται η θερμοκρασία του εδάφους καλλιέργειας (Tsoil)
- 1 θερμοζεύγος στον αέρα πάνω από το κέντρο του πάγκου καλλιέργειας και στην ενδιάμεση απόσταση πάγκου καλλιέργειας και συστήματος θέρμανσης (1.5 m) για να μετράται η θερμοκρασία του αέρα (Tair)
- 1 θερμοζεύγος στην ίδια θέση κάτω από τον πάγκο καλλιέργειας 10 cm πάνω από το έδαφος για να μετράται η θερμοκρασία του εδάφους (Tground)
- 2 θερμοζεύγη εντός και εκτός του πλαϊνού καλύμματος 20 cm από το ύψος των φυτών για να μετράται η θερμοκρασία του περιμετρικού PVC καλύμματος (Tcover_PVC)
- 2 θερμοζεύγη εντός και εκτός του καλύμματος οροφής του θερμοκηπίου για να μετράται η θερμοκρασία του PE film καλύμματος οροφής (Tcover_PE)

Εικόνα 4: Τομή πειραματικού σταθμού θερμοκηπίου

Οι εξωτερικές κλιματολογικές συνθήκες καταγράφονται στον μετεωρολογικό σταθμό που βρίσκεται πολύ κοντά στο θερμοκήπιο (εικόνα 5) και είναι εξοπλισμένος με τους κατάλληλους αισθητήρες σε ύψος 2.50 m από το έδαφος. Αυτές οι παράμετροι είναι η θερμοκρασία και η σχετική υγρασία (probe MP101A), η ταχύτητα του ανέμου (Anemometer A100K), η θερμοκρασία ουρανού (Pyrgeometer CGR3), η ηλιακή ακτινοβολία (SP-Lite) και το ύψος της βροχόπτωσης (Rain gauge 52203).

Οι παράμετροι κεντρικού ενδιαφέροντος είναι η θερμοκρασία φυτών, εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος, η θερμοκρασία εδάφους καλλιέργειας φυτών, η θερμοκρασία εδάφους κάτω από τον πάγκο καλλιέργειας, η θερμοκρασία καλύμματος, η θερμοκρασία ουρανού, και η ταχύτητα ανέμου. Η προσοχή εστιάζεται στην θερμική συμπεριφορά του θερμοκηπίου κατά την διάρκεια της νύχτας και πιο συγκεκριμένα στην θερμοκρασία εσωτερικού αέρα και καλύμματος, όταν το σύστημα θέρμανσης αυτόματα ανοίγει και κλείνει. Επειδή οι τιμές αυτών των παραμέτρων αλλάζουν με τον χρόνο, τα δεδομένα σαρώνονται κάθε λεπτό, υπολογίζονται οι μέσοι όροι κάθε 10/λεπτο και καταγράφονται σε 24ωρη βάση στον Datalogger του σταθμού. Υπολογίζονται οι μέσες ολονύχτιες τιμές από τις αντίστοιχες χρονικές ακολουθίες βασιζόμενες στο διάστημα μεταξύ της απότομης αλλαγής της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας και της θερμοκρασίας στην ανατολή και στην δύση του ήλιου καθώς και την αποκατάσταση σταθερών συνθηκών εντός του θερμοκηπίου.

Εικόνα 5: Ο μετεωρολογικός σταθμός

Το σύστημα υπέρυθρης θέρμανσης που χρησιμοποιείται αποτελείται από (6) υπέρυθρους σωλήνες, τύπου INFRA MONOTUBO 18MI, θερμικής

ικανότητας 45KW έκαστος, που είναι τοποθετημένοι σε ύψος 3.0 m από την επιφάνεια των φυτών (εικόνα 6). Το κάθε σωληνωτό κάτοπτρο τύπου INFRA σχεδιάζεται και κατασκευάζεται από την SYSTEMA S.R.I. (www. Natural-gas.gr) και αποτελείται από:

- Καυστήρα BAF που λειτουργεί με μίγμα αερίου και αέρα ωθούμενο από ανεμιστήρα, κλειστού τύπου, θερμικής ισχύος 45KW
- Ανεμιστήρα απαγωγής με κινητήρα κλάσης H
- Υπέρυθρο σώμα θέρμανσης, σύστημα σωληνώσεων θερμαινόμενο από τα αέρια καύσης σε θερμοκρασίες που εκπέμπουν στο υπέρυθρο φάσμα.
- Κάτοπτρα ανάκλασης για να εκτρέπουν την ακτινοβολία από τους σωλήνες που βρίσκονται κάτωθεν, με υψηλό συντελεστή ανάκλασης στις υπέρυθρες συχνότητες.

Εικόνα 6: Το σύστημα υπέρυθρης θέρμανσης (IR)

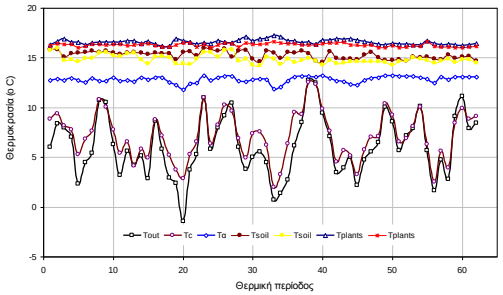
Τα πειράματα διεξήχθησαν κατά την διάρκεια της θερμικής περιόδου. Τα πειραματικά αποτελέσματα κατεγράφησαν για περίοδο 62 ημερών της παραγωγικής λειτουργίας του θερμοκηπίου.

3. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ

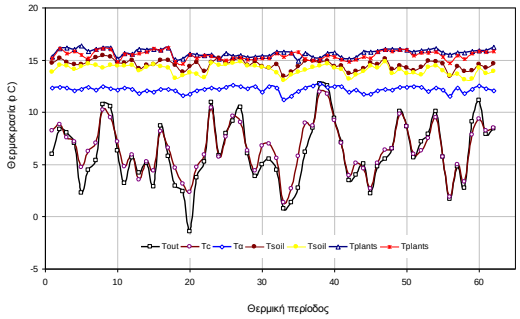
Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα τυπικά αποτελέσματα των μεταβολών της θερμοκρασίας του αέρα, του εδάφους κάτω από τον πάγκο καλλιέργειας, και του καλύμματος του θερμοκηπίου, δίνοντας σαφή εικόνα για το πώς λειτουργεί στην πράξη η υπέρυθρη θέρμανση. Το όφελος της υπέρυθρης θέρμανσης σχετίζεται με την ικανότητα του συστήματος να διατηρεί την επιθυμητή θερμοκρασία στο φυτικό θόλο ενώ ο εσωτερικός αέρας του θερμοκηπίου διατηρείται σε σημαντικά χαμηλότερη θερμοκρασία.

Στα σχήματα 7 και 8 απεικονίζεται η θερμική συμπεριφορά του θερμοκηπίου στην διάρκεια της εξεταζόμενης περιόδου. Οι συνολικές νύχτες που εμφανίζονται στον άξονα x απεικονίζονται με χρονική αλληλουχία. Τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται σε αυτά τα διαγράμματα είναι η διακύμανση της θερμοκρασίας του εσωτερικού αέρα και του καλύμματος, η θερμοκρασία του εδάφους, η θερμοκρασία των φυτών και η θερμοκρασία του εξωτερικού περιβάλλοντος. Πρόκειται για τις μέσες τιμές θερμοκρασίας νύχτας που προκύπτουν από τα πειραματικά δεδομένα αυτής της περιόδου. Παρατηρούμε ότι η θερμοκρασία του εσωτερικού αέρα είναι σημαντικά χαμηλότερη από την θερμοκρασία των φυτών, κατά 3 – 4°C, ενώ η θερμοκρασία καλύμματος είναι ακόμα χαμηλότερη και κυμαίνεται από 4 – 11 °C στο PVC πλαϊνό κάλυμμα και από 6 – 13 °C στο PE κάλυμμα οροφής, ακολουθώντας την πτώση της εξωτερικής θερμοκρασίας.

Αυτά τα αποτελέσματα είναι τα αναμενόμενα σύμφωνα με τις αρχές λειτουργίας της υπέρυθρης ακτινοβολίας (Nelson, 2003)(αναφορά) και δίνουν μια πραγματική εκτίμηση της μείωσης των ενεργειακών απωλειών του θερμοκηπίου που φαίνεται να είναι σημαντική και αναδεικνύει τα πλεονεκτήματα εφαρμογής της υπέρυθρης ακτινοβολίας σε παραγωγικά θερμοκήπια.



Εικόνα 7. Διακύμανση μέσων πειραματικών τιμών θερμοκρασίας εσωτερικού αέρα, εδάφους και καλύμματος του θερμοκηπίου στον πρώτο πειραματικό σταθμό



Εικόνα 8. Διακύμανση μέσων πειραματικών τιμών θερμοκρασίας εσωτερικού αέρα, εδάφους και καλύμματος του θερμοκηπίου στον δεύτερο πειραματικό σταθμό

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Οι πειραματικές μετρήσεις σε παραγωγικό θερμοκήπιο με την χρήση υπέρυθρης θέρμανσης δείχνουν ότι η θερμοκρασία του αέρα στο εσωτερικό του θερμοκηπίου παραμένει σημαντικά μικρότερη από τη θερμοκρασία στην οποία διατηρούνται τα φυτά, μειώνοντας την κατανάλωση ενέργειας 35-45%.

Η θέρμανση του θερμοκηπίου με υπέρυθρη ακτινοβολία έχει ως αποτέλεσμα την ταχύτερη ανάπτυξη των φυτών σε σχέση με τις συμβατικές μεθόδους θέρμανσης και την καλύτερη ομοιομορφία στις διάφορες παρτίδες λόγω της καλύτερης κατανομής της θερμοκρασίας στο φυτικό θόλο.

Στην ρίζα παρατηρείται ικανοποιητική ανάπτυξη, τόσο όσο αφορά την ταχύτητα ανάπτυξης όσο και την εναπόθεση βιομάζας εφόσον το μικροπεριβάλλον γύρω της διατηρείται στην ιδανική θερμοκρασία.

Η θέρμανση με IR ακτινοβολία επιτρέπει τη δημιουργία ζωνών σε επί μέρους τμήματα του θερμοκηπίου, με διαφορετικές συνθήκες θερμοκρασίας, ανάλογα με τις απαιτήσεις της κάθε καλλιέργειας.

Τα οφέλη της θέρμανσης με υπέρυθρη ακτινοβολία δεν περιορίζονται μόνο στην ανάπτυξη του φυτού αλλά και στη μείωση της εμφάνισης ασθενειών στα φυτά. Η θερμότητα που απορροφάται από την επιφάνεια του φύλλου έχει ως αποτέλεσμα την απουσία υγρασίας και κατά συνέπεια μείωση των μυκητολογικών ασθενειών. Γενικότερα η υγρασία του χώρου είναι πολύ χαμηλότερη σε σχέση με αντίστοιχα θερμοκήπια που θερμαίνονται επιδαπέδια υπό τις ίδιες καιρικές συνθήκες. Επιπλέον το σύστημα παρέχει τη δυνατότητα ρύθμισης διαφορετικής θερμοκρασίας μέσα στο ίδιο θερμοκήπιο εφόσον υπάρχουν παραπάνω από ένα αυτόνομα συστήματα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Bartzanas, T., Tchamitchian, M., and Kittas, C. 2005. Influence of the Heating Method on Greenhouse Microclimate and Energy Consumption. Biosystems Eng. 91:487-499.

De Pascale S., and Maggio A. 2004. Sustainable protected cultination at Metiterranean climate, perspectives and challanges. Acta Horticulturae, 691: 29-42

Kavga, A., Panidis, Th., Bontozoglou, V., and Pantelakis, S. 2009. Infra-Red Heating of Greenhouses Revisited: An Experimental and Modeling Study. Trans. ASABE 52: 1-11.

Kavga, A., Alexopoulos, G., Bontozoglou, V., Pantelakis, S., & Panidis, Th., 2012. Experimental investigation of the energy needs for a conventionally and an infrared heated greenhouse, Advances in Mechanical Engineering, Article ID 789515, 1-16.

Nelson, V. P. 2003. Greenhouse operation and management. 6rd ed. New Jersey: Upper Saddle River.

Teitel, M., Shklyar, A., Elad, Y., Dikhtyar, V., and Jerby, E. 2002. Development of a microwave system for greenhouse heating, Acta Horticulturae 534:189-195.

Tiwari, G. N. 2003. Greenhouses technology for controlled environment. New Delhi: Narosa Publishing House.

ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΟΥ ΥΨΟΥΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΘΕΣΗΣ ΤΩΝ ΑΝΟΙΓΜΑΤΩΝ ΑΕΡΙΣΜΟΥ ΣΤΟ ΜΙΚΡΟΚΛΙΜΑ ΤΩΝ ΑΓΡΟΤΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΜΕ ΔΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

Αναστασία Δενιζοπούλου, Μαρία Παροτσίδου, Βασίλειος Φράγκος, Χρυσούλα Νικήτα-Μαρτζοπούλου
Τομέας Εγγείων Βελτιώσεων, Εδαφολογίας και Γεωργικής Μηχανικής, Γεωπονική Σχολή, Α.Π.Θ., 54124, Θεσσαλονίκη

Στην παρούσα εργασία πραγματοποιείται αριθμητική προσομοίωση της ροής του αέρα στο εσωτερικό αγροτικών κατασκευών θερμοκηπιακού τύπου. Σκοπός είναι η μελέτη της επίδρασης του ύψους και της θέσης των ανοιγμάτων αερισμού στην διαμόρφωση των τυρβωδών χαρακτηριστικών της ροής. Για την προσομοίωση της τυρβώδους ροής κατά τον αερισμό χρησιμοποιήθηκε μοντέλο υπολογιστικής ρευστομηχανικής βασισμένο στην επίλυση των εξισώσεων Navier-Stokes και συνέχειας με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων. Λαμβάνοντας υπόψη τις κατάλληλες οριακές συνθήκες, προσομοιώνεται η ροή μέσα σε αεροσήραγγα ώστε το αριθμητικό πείραμα να υπολογίζεται σε δύο διαστάσεις. Από την στατιστική επεξεργασία των στιγμιαίων αποτελεσμάτων του μαθηματικού μοντέλου προκύπτει η ανάλυση των χαρακτηριστικών μεγεθών της τυρβώδους ροής όσον αφορά στην ένταση της τύρβης και στην μεταβολή της τυρβώδους κινητικής ενέργειας.

Λέξεις κλειδιά: άμεση αριθμητική προσομοίωση, αερισμός, μέθοδος πεπερασμένων στοιχείων, αγροτικές κατασκευές

STUDY OF THE EFFECT OF HEIGHT AND POSITION OF VENTILATION OPENINGS ON THE MICROCLIMATE OF RURAL CONSTRUCTIONS BASED ON TWO DIMENSIONAL NUMERICAL APPROACH

Anastasia Denizopoulou, Maria Parotsidou, Vasileios Fragos, Chrysoula Nikita - Martzopoulou
Department of Hydraulics, Soil Science and Agricultural Engineering, School of Agriculture, Aristotle University of Thessaloniki, 54124, Thessaloniki.
adeniz@agro.auth.gr, mparotsi@agro.auth.gr, fragos@agro.auth.gr, nikita@agro.auth.gr.

In the present paper the numerical simulation of airflow within agricultural constructions is performed. The aim is to study the effect of the height and position of ventilation openings in the formation of turbulent flow characteristics. For simulation purposes of turbulent flow in ventilation a computational fluid dynamics model is used based on solving the Navier-Stokes and continuity equations with the finite element method. Taking the appropriate boundary conditions under consideration, the flow is simulated in the wind tunnel so that the numerical experiment is to be calculated in two dimensions. From the statistical analysis of instantaneous results of the mathematical model results the analysis of the characteristics of the turbulent flow with regard to the turbulence intensity and the variation of the turbulent kinetic energy.

Key words: direct numerical simulation, ventilation, finite element method, rural constructions

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες για τη σωστή ρύθμιση του μικροκλίματος μιας αγροτικής κατασκευής είναι αναμφισβήτητα ο αερισμός. Βασικός στόχος του είναι η επίτευξη (ρύθμιση) της βέλτιστης εσωτερικής θερμοκρασίας, της σχετικής υγρασίας καθώς και των επιπέδων συγκέντρωσης αερίων.

Ενα επαρκές σύστημα εξαερισμού καθιστά δυνατή τη μείωση της θερμοκρασίας στο εσωτερικό της κατασκευής, τη μείωση της σχετικής υγρασίας, την αύξηση της συγκέντρωσης του CO_2 σε θερμοκήπια και τη βελτίωση του χημικού περιβάλλοντος σε κτηνοτροφικές κατασκευές καθώς επίσης και τη μη συσσώρευση αέριων εκπομπών με έντονες περιβαλλοντικές επιπτώσεις, όπως η αμμωνία, το μεθάνιο και το υποξείδιο του αζώτου. Συνεπώς εξασφαλίζεται με το σωστό αερισμό η αποδοτική και συνάμα ποιοτική αγροτική παραγωγή καθώς ένα υγιές περιβάλλον εργασίας και στέγασης, τόσο για τον αγρότη όσο και για τα ζώα.

Ο φυσικός αερισμός επιτυγχάνεται μέσω ανοιγμάτων, τα οποία συνήθως τοποθετούνται στην οροφή και στις πλευρές των αγροτικών κατασκευών θερμοκηπιακού τύπου (Martzopoulou, 2007). Η ροή του αέρα διαμέσου των ανοιγμάτων οφείλεται κυρίως στη διαφορά πίεσης που δημιουργείται μεταξύ εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος. Αυτή η ροή διαχωρίζεται σε: α) σταθερή κατάσταση, η οποία προκαλείται από στατική πίεση και σχετίζεται με τη μέση ταχύτητα του αέρα και περιγράφεται από την εξίσωση Bernoulli, και σε β) τυρβώδη κατάσταση, που προκαλείται από τις διακυμάνσεις της πίεσης ανέμου και σχετίζεται με την γεωμετρία της αγροτικής κατασκευής.

Η αύξηση του ενδιαφέροντος των ερευνητών για τη διερεύνηση των μεθόδων φυσικού αερισμού των αγροτικών κατασκευών και η αναγκαιότητα διερεύνησης του φαινομένου οδήγησε πολλούς ερευνητές να ασχοληθούν με τη μελέτη της ροής του αέρα γύρω από κατασκευές.

Οι Norton et al. (2007) στην μελέτη τους παρείχαν μια εξαιρετικά εξειδικευμένη ανασκόπηση των τρεχουσών εφαρμογών της ρευστομηχανικής στο σχεδιασμό των συστημάτων αερισμού στις εγκαταστάσεις γεωργικής παραγωγής. Σε γενικές γραμμές υπογραμμίστηκε ο ρόλος που η ρευστομηχανική μπορεί να προσφέρει στην μοντελοποίηση του εσωτερικού περιβάλλοντος των αγροτικών κατασκευών και δόθηκε έμφαση στην ανάγκη για επιπρόσθετη έρευνα επικεντρωμένη όχι μόνο στην παρατήρηση των φαινομένων του αερισμού αλλά και στην ενσωμάτωση των παρατηρήσεων στο σχεδιασμό των αγροτικών εγκαταστάσεων.

Επιπρόσθετα οι Norton et al. (2010) χρησιμοποίησαν την Υπολογιστική Ρευστομηχανική για την ανάπτυξη μοντέλων πρόβλεψης τα οποία περιγράφουν την ομοιογένεια του εσωτερικού περιβάλλοντος ενός φυσικά αεριζόμενου κτηνοτροφικού κτιρίου ως συνάρτηση της γεωμετρίας του και των διατάξεων αερισμού για τρεις διαφορετικές συνθήκες πλευρικών ανοιγμάτων. Συμπέρασμα της εργασίας τους είναι ότι ο τύπος επένδυσης πρόστεγου, το πορώδες του υλικού και το ύψος των ανοιγμάτων, αποτελούν μεταβλητές σχεδιασμού, προκειμένου να επιτευχθεί η καλή ομοιομορφία σε ένα φυσικά βουστάσιο.

Προκειμένου να αποκτηθεί καλύτερη κατανόηση της πολύπλοκης διαδικασίας φυσικού εξαερισμού μέσα και γύρω από τα κτηνοτροφικά κτίρια, οι De Paepe et al. (2012) στα πλαίσια της εργασίας τους διεξήγαν μετρήσεις της ταχύτητας του αέρα σε αεροσήραγγα σε κλίμακα 1:60 μιας σταβλικής εγκατάστασης αγελάδων γαλακτοπαραγωγής με έξι διαφορετικές διατάξεις ανοιγμάτων αερισμού. Σκοπός του πειράματος ήταν η ποσοτικοποίηση της επίδρασης των διαφορετικών ανοιγμάτων αερισμού στις κατανομές της ταχύτητας τόσο στο εσωτερικό της κατασκευής όσο και υπήνεμα αυτής.

Επίσης, οι Zhang et al. (2000) προσπάθησαν να προσομοιώσουν τη δισδιάστατη ροή του αέρα, με τη χρήση ενός μοντέλου υπολογιστικής ρευστομηχανικής, μέσα σε πειραματική κατασκευή με συμμετρική γεωμετρία, που αναπαριστούσε μία κτηνοτροφική κατασκευή.

Το αριθμητικό μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε με σκοπό να εξαχθούν ευρείας κλίμακας συμπεράσματα για το σχεδιασμό των ανοιγμάτων των αγροτικών κατασκευών θερμοκηπιακού τύπου, βασίστηκε στη χρήση της υπολογιστικής ρευστομηχανικής με δυναμική προσέγγιση μελετώντας τις μεταβολές των χαρακτηριστικών του μικροκλίματος ως προς το χρόνο. Οποιαδήποτε μεταβολή των διαστάσεων και της θέσης των ανοιγμάτων αερισμού επηρεάζει άμεσα ως προς τον χώρο και τον χρόνο, τις παραμέτρους του εσωτερικού μικροκλίματος και κυρίως τη θερμοκρασία, την υγρασία και τη συγκέντρωση των αέριων ρύπων.

Στόχος της εργασίας είναι να μελετηθεί η επίδραση του ύψους και των θέσεων των ανοιγμάτων αερισμού στη διαμόρφωση του μικροκλίματος εντός μιας αγροτικής κατασκευής με κύριο σκοπό τη δυνατότητα βελτίωσης του μικροκλίματος μέσω του φυσικού αερισμού. Για αυτό το λόγο μελετήθηκε υπολογιστικά με τη βοήθεια μαθηματικού μοντέλου προσομοίωσης σε κώδικα Fortran (Fragos et al., 2007, 2012 & Paraskevopoulou et al., 2011) η δισδιάστατη ροή ανέμου γύρω από συμμετρική κατασκευή με την απευθείας επίλυση των εξισώσεων Navier-Stokes και συνέχειας, για αριθμό Reynolds Re=300, ο οποίος αντιστοιχεί σε ομοιόμορφη ταχύτητα Uo= 1 m/sec στην είσοδο της αεροσήραγγας και για τα δυο διαφορετικά ύψη ανοιγμάτων στα πλαϊνά της κατασκευής.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1. Διέπουσες εξισώσεις

Οι αδιαστατοποιημένες εξισώσεις Navier-Stokes (N-S) και συνέχειας που περιγράφουν τη δισδιάστατη, ισόθερμη, τυρβώδη ροή αέρα στο εσωτερικό και εξωτερικό μιας αγροτικής κατασκευής ορίζονται παρακάτω:

$$\frac{\partial U}{\partial t} + U\nabla U = -\nabla p + \frac{1}{Re}\nabla^2 U$$

α) Εξίσωση κίνησης (εξισώσεις N-S)

β) εξίσωση συνέχειας

$$\nabla U = 0$$

όπου U=(u,v) είναι το διάνυσμα της ταχύτητας για τα ρευστά, u και v είναι οι συνιστώσες της ταχύτητας για τη x και y διεύθυνση αντίστοιχα, p είναι η πίεση και Re είναι ο αριθμός Reynolds.

2.2. Οριακή και Αρχική συνθήκη

Στην παρούσα εργασία επιβάλλονται οι κατάλληλες οριακές συνθήκες ώστε να προσομοιώνεται η φυσική ροή στο εσωτερικό και εξωτερικό περιβάλλον μιας αγροτικής κατασκευής μέσα σε αεροσήραγγα.

Ο καθορισμός της αρχικής συνθήκης είναι ένα από τα βασικότερα προβλήματα που απασχολεί την υπολογιστική μηχανική των ρευστών. Στην παρούσα εργασία επιλέχθηκε ως αρχική συνθήκη η λύση για αριθμό Re=1 που προέκυψε από την επίλυση των

ΣΥΝΙΣΤΩΣΕΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ	ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ ΑΕΡΟΣΗΡΑΓΓΑΣ &ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	ΕΙΣΟΔΟΣ ΑΕΡΟΣΗΡΑΓΓΑΣ	ΕΞΟΔΟΣ ΑΕΡΟΣΗΡΑΓΓΑΣ
ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΣΥΝΙΣΤΩΣΑ,(u)	0 (συνθήκες μη ολίσθησης)	1 (Ομοιόμορφη ροή)	Ελεύθερη Οριακή συνθήκη
ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗ ΣΥΝΙΣΤΩΣΑ,(v)	0 (συνθήκες μη ολίσθησης)	1 (Ομοιόμορφη ροή)	Ελεύθερη Οριακή συνθήκη

εξισώσεων Navier–Stokes σε σταθερή κατάσταση (Fragos et al., 2007).

Πίνακας 1. Οριακές συνθήκες του υπολογιστικού πεδίου ροής.

Οι μονάδες των παραμέτρων είναι αδιάστατες. Η αδιαστατοποίηση των ταχυτήτων έγινε με βάση την ομοιόμορφη ταχύτητα στην είσοδο της αεροσήραγγας Uo.

2.3. Υπολογιστικά δεδομένα αριθμητικών πειραμάτων

Τα υπολογιστικά δεδομένα της μελετώμενης εφαρμογής ορίστηκαν με βάση το ενδιαφέρον των ερευνητών για τη μελέτη ροών μέσα σε αεροσήραγγες και τα συναφή εργαστηριακά πειράματα για τη μελέτη των επιδράσεων αέρα σε κατασκευές. Η γεωμετρία της υπό μελέτης αγροτικής κατασκευής είναι μεν ορθογωνική αλλά βασίστηκε σε ελεγχόμενη γεωμετρία (test room) που χρησιμοποιήθηκε για εξαγωγή επιστημονικών συμπερασμάτων και από άλλους ερευνητές (Zhang 2000 & Paraskevopoulou 2011).

Πίνακας 2.Υπολογιστικά δεδομένα των αριθμητικών πειραμάτων

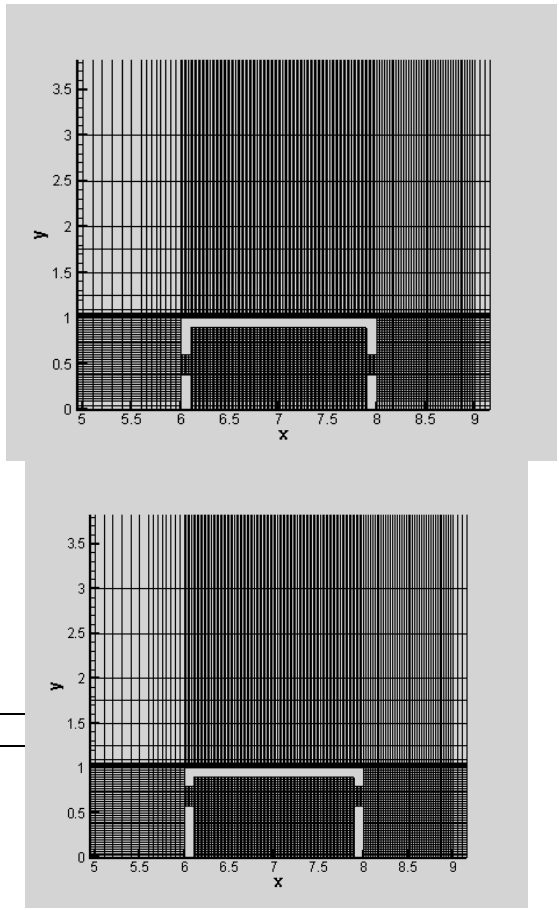
	1η ΔΙΑΤΑΞΗ	2η ΔΙΑΤΑΞΗ
ΥΨΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	1	1
ΜΗΚΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	2	2
ΘΕΣΗ ΑΝΟΙΓΜΑΤΩΝ	0.375	0.575
ΜΗΚΟΣ ΑΕΡΟΣΗΡΑΓΓΑΣ	30	30
ΥΨΟΣ ΑΕΡΟΣΗΡΑΓΓΑΣ	10	10
ΑΡΙΘΜΟΣ REYNOLDS	300	300

Οι μονάδες των παραμέτρων είναι αδιάστατες. Η αδιαστατοποίηση του μήκους κατά τη x και y διεύθυνση έγινε με βάση το ύψος της κατασκευής h.

2.4. Μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων

Για την επίλυση των εξισώσεων μαζί με τις παραπάνω οριακές συνθήκες (Πίνακας 1) χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων. Για τις ανάγκες επίλυσης χρησιμοποιήθηκε ο κώδικας πεπερασμένων στοιχείων των Fragos et al. (2007) σε γλώσσα προγραμματισμού VISUAL FORTRAN 90/95. Προκειμένου όμως να προσομοιωθεί η ροή στο εσωτερικό και εξωτερικό μιας αγροτικής κατασκευής ο κώδικας αυτός τροποποιήθηκε ώστε να προκύψει η λύση για τη ροή στο εσωτερικό και εξωτερικό μιας ορθογώνιας κατασκευής με ανοίγματα.

Το υπολογιστικό πλέγμα σχεδιάστηκε ώστε να εξασφαλίζεται η απαιτούμενη ακρίβεια και ο ελάχιστος υπολογιστικός χρόνος. Στα Σχήματα 1α και 1β παρουσιάζεται το υπολογιστικό πλέγμα σε ολόκληρο το πεδίο ροής καθώς επίσης και οι λεπτομέρειες του πλέγματος γύρω και μέσα στην κατασκευή για τις διαφορετικές θέσεις ανοιγμάτων.



Σχήμα 1α. Υπολογιστικό πλέγμα δισδιάστατης προσομοίωσης της ροής του ανέμου κατασκευής με πλαϊνά ανοίγματα σε ύψος 0.575h

Σχήμα 1b. Υπολογιστικό πλέγμα δισδιάστατης προσομοίωσης της ροής του ανέμου κατασκευής με πλαϊνά ανοίγματα σε ύψος 0.375h.

Το πλήθος των πεπερασμένων στοιχείων, των κόμβων, των αγνώστων και του χρονικού βήματος παρουσιάζονται στον πίνακα 3. Από την επίλυση των εξισώσεων προκύπτουν συνολικά 3000 μετρήσεις για τις άγνωστες αδιαστατοποιημένες μεταβλητές u, v, *p* σε όλους τους κόμβους του υπολογιστικού πλέγματος. Το πρόγραμμα εκτελέστηκε σε επιτραπέζιο υπολογιστή Intel® Core(TM) i7 CPU 870 @2.93GHz0020 και 4 GB RAM.

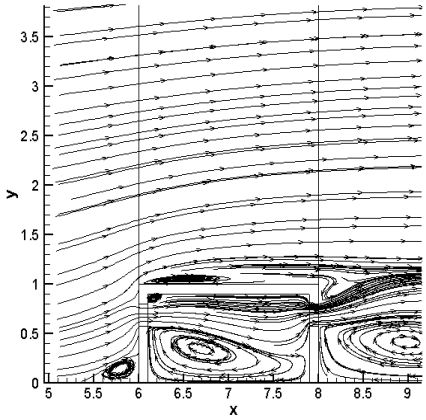
Πίνακας 3. Στοιχεία των υπολογιστικών πεδίων ροής.

	1η ΔΙΑΤΑΞΗ	2η ΔΙΑΤΑΞΗ
ΠΛΗΘΟΣ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ	19735	19990
ΠΛΗΘΟΣ ΚΟΜΒΩΝ	79940	80966
ΣΥΝΟΛΙΚΟΣ ΑΡΙΘΜΟΣ ΤΩΝ ΑΓΝΩΣΤΩΝ	180115	182425
ΧΡΟΝΙΚΟ ΒΗΜΑ	0.01	0.01

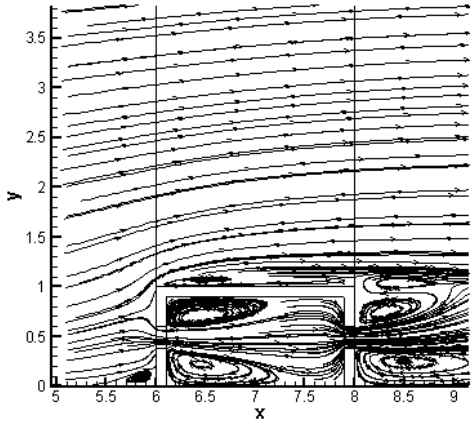
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ & ΣΥΖΗΤΗΣΗ

3.1. Μέσες Γραμμές Ροής

Στα σχήματα 2α και 2β παρουσιάζονται οι μέσες ως προς το χρόνο γραμμές ροής που προέκυψαν μετά από στατιστική επεξεργασία 3000 υπολογιζόμενων τιμών για κάθε σημείο του χώρου και για χρονική διάρκεια T = 30 χρονικές μονάδες.



Σχήμα 2α. Μέσες γραμμές ροής για την δισδιάστατη προσομοίωση της ροής του ανέμου κατά μήκος της εγκάρσιας τομής της ορθογώνιας κατασκευής με πλαϊνά ανοίγματα σε ύψος 0.575h.



Σχήμα 2β. Μέσες γραμμές ροής για την δισδιάστατη προσομοίωση της ροής του ανέμου κατά μήκος της εγκάρσιας τομής της ορθογώνιας κατασκευής με πλαϊνά ανοίγματα σε ύψος 0.375h.

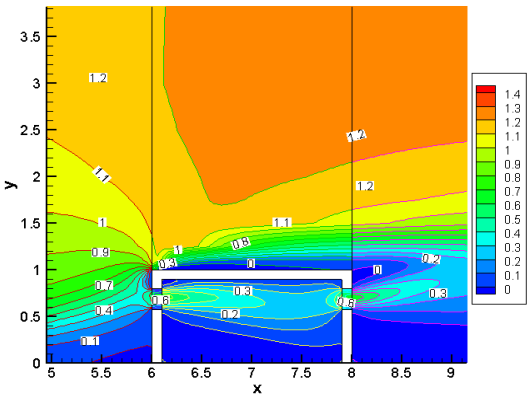
Παρατηρείται από το σχήμα 2α λόγω της θέσης του ανοίγματος σε ύψος 0.575h, ότι δημιουργείται ένας μεγάλος στροβιλισμός στην κάτω γωνία ανάντη του εσωτερικού περιβάλλοντος της κατασκευής κατά μήκος της κατασκευής μέχρι και την κάτω γωνία κατάντη εντός της κατασκευής.

Επιπρόσθετα υπάρχει ένας πιο έντονος στροβιλισμός στην έξοδο της ροής του αέρα από την κατασκευή στο κατάντη εξωτερικό περιβάλλον λόγω ανακυκλοφορίας αέρα από την εξερχόμενη της κατασκευής ροή.

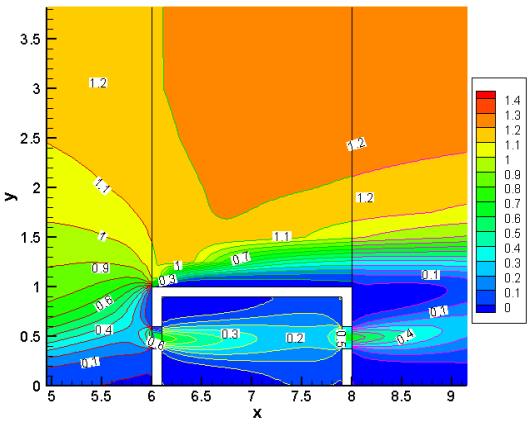
Όπως φαίνεται από το σχήμα 2β και για την θέση του ανοίγματος σε ύψος 0.375h, δημιουργούνται δυο στρόβιλοι στην άνω και την κάτω γωνία στο ανάντη εσωτερικό τοίχωμα της κατασκευής. Η ροή του αέρα εισέρχεται δια μέσου της κατασκευής και κατά την έξοδο της δημιουργούνται μικροί στροβιλισμοί εκατέρωθεν του ανοίγματος στο ανάντη τοίχωμα.

3.2 Οριζόντια συνιστώσα της ταχύτητας

Στα Σχήματα 3α και 3β παρουσιάζεται η κατανομή των οριζόντιων ταχυτήτων του αέρα στο εσωτερικό και εξωτερικό της αγροτικής κατασκευής και για τις δύο διατάξεις πλαϊνών ανοιγμάτων και για Re=300



Σχήμα 3α. Κατανομή της μέσης οριζόντιας συνιστώσας της ταχύτητας κατά μήκος της εγκάρσιας τομής της ορθογώνιας κατασκευής με πλαϊνά ανοίγματα σε ύψος 0.575h.



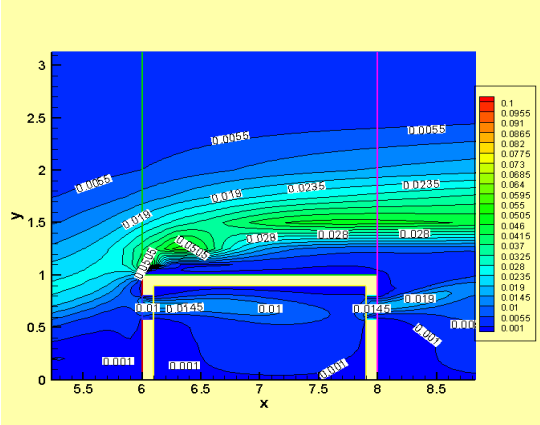
Σχήμα 3β. Κατανομή της μέσης οριζόντιας συνιστώσας της ταχύτητας κατά μήκος της εγκάρσιας τομής της ορθογώνιας κατασκευής με πλαϊνά ανοίγματα σε ύψος 0.375h.

Παρατηρώντας τα δύο σχήματα 3α και 3β γίνεται αντιληπτό ότι τόσο για την περίπτωση της θέσης του ανοίγματος σε ύψος 0.575h όσο και για αυτήν σε ύψος 0.375h η μέση οριζόντια ταχύτητα

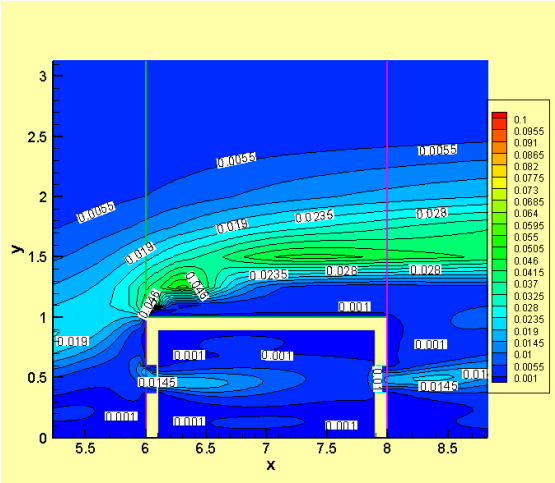
παρουσιάζει υψηλότερες τιμές (1.1) πάνω από την αγροτική κατασκευή και σε ύψος πάνω από το μισό του ύψους της καθώς επίσης και στα ανοίγματα. Στο εσωτερικό της κατασκευής οι υψηλότερες τιμές της μέσης οριζόντιας ταχύτητας και για τις δυο περιπτώσεις παρατηρούνται κυρίως στο μέσο της.

3.3 Τυρβώδης Κινητική Ενέργεια

Η τυρβώδης κινητική ενέργεια (TKE) δίνεται από τη σχέση: $TKE = \frac{1}{2}(u'^2 + v'^2)$ και απεικονίζεται στα ακόλουθα σχήματα και για τις δυο διατάξεις ανοιγμάτων.



Σχήμα 4α. Τυρβώδης κινητική ενέργεια κατά μήκος της εγκάρσιας τομής της ορθογώνιας κατασκευής με πλαϊνά ανοίγματα σε ύψος 0.575h.



Σχήμα 4β. Τυρβώδης κινητική ενέργεια κατά μήκος της εγκάρσιας τομής της ορθογώνιας κατασκευής με πλαϊνά ανοίγματα σε ύψος 0.375h.

Από την αριθμητική μελέτη που διεξήχθη και την στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων που πρόεκυψαν, όπως απεικονίζονται στα σχήματα 4α και 4β, η μέγιστη τιμή για την τυρβώδη κινητική ενέργεια παρατηρείται και για τις δυο περιπτώσεις πλαϊνών ανοιγμάτων στην άνω αιχμή αποκόλλησης της ροής ανάντη του εξωτερικού τοιχώματος της κατασκευής (0.0505 και 0.046 για πλαϊνά ανοίγματα σε ύψος 0.575h και 0.375 αντίστοιχα) ενώ σταδιακά αποδυναμώνεται πάνω από το μέσο και κατάντη αυτής. Όσον αφορά στο εσωτερικό της κατασκευής κοντά στα ανοίγματα παρουσιάζει επίσης μέγιστες τιμές και για τις δυο περιπτώσεις ανοιγμάτων.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σε αυτήν την εργασία η ροή του αέρα μέσα και γύρω από ορθογώνια αγροτική κατασκευή με δυο διαφορετικές διατάξεις πλαϊνών ανοιγμάτων μελετήθηκαν με δυναμική αριθμητική προσομοίωση.

Από τα σχήματα που παρουσιάστηκαν και την ανάλυση των αντίστοιχων αποτελεσμάτων που προέκυψαν, παρατηρείται ότι σημαντικότερες αλλαγές λαμβάνουν χώρα στο εσωτερικό της κατασκευής ενώ οι αλλαγές είναι πιο ήπιες στο εξωτερικό αυτής περιβάλλον.

Από την στατιστική επεξεργασία της κατανομής της οριζόντιας συνιστώσας της ταχύτητας και της τυρβώδους κινητικής ενέργειας προέκυψε ότι οι μέγιστες τιμές των παραμέτρων εμφανίστηκαν κοντά στα ανοίγματα και πάνω από την οροφή της κατασκευής και για τις δυο διατάξεις πλαϊνών ανοιγμάτων. Παρατηρήθηκε διαφοροποίηση ως προς τη διαμόρφωση της ροής και τον σχηματισμό των στροβιλισμών, γεγονός που οφείλεται τόσο στη γεωμετρία της κατασκευής όσο και στην αποκόλληση και προσκόλληση της ροής.

Στο μέλλον τα αποτελέσματα μπορεί να επεκταθούν σε τρεις διαστάσεις, έτσι ώστε να προσαρμόζονται στην πραγματική γεωμετρία των αγροτικών κατασκευών και στην ανάλυση και άλλων παραμέτρων μικροκλίματος, όπως η θερμοκρασία του αέρα, η υγρασία και οι συγκεντρώσεις τοξικών αερίων εντός αυτών.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Περιοδικά

Fragos VP, Psychoudaki SP, Malamataris, NA (2007). Direct simulation of two-dimensional turbulent flow over a surface-mounted obstacle. International Journal for Numerical Methods in Fluids 55: 985-1018.

Fragos VP, Psychoudaki SP, Malamataris NA (2012). Two-dimensional numerical simulation of vortex shedding and flapping motion of turbulent flow around a rib. Computers & Fluids 69: 108-121.

Norton, T., Grant, J., Fallon, R. & Sun, D-W. (2010). Improving the representation of thermal boundary conditions of livestock during CFD modelling of the indoor environment¨ Computers and Electronics in Agriculture 73 (1) pp 17-36

Norton, T., Grant, J., Fallon, R. & Sun, D-W. (2010). Optimising the ventilation configuration of naturally ventilated livestock buildings for improved indoor

environmental homogeneity, Building and Environment 45 (4): 983-995.

Norton, T., Grant, J., Fallon, R., Sun, D-W & Dodd, V. (2007). Applications of computational fluid dynamics (CFD) in the modeling and design of ventilation systems in the agricultural industry: A review, Bioresource Technology 98 (12): 2386–2414.

Πρακτικά Συνεδρίων

Nikita – Martzopoulou, Ch., 2007. New trends in animal housing in Greece: Greenhouse type livestock buildings. Workshop of CIGR Section II - Animal housing in hot climate. Cairo, Egypt, 1 – 4 of April, 2007.

Paraskevopoulou I., Ntinas G., Fragos V. & Nikita-Martzopoulou Ch. Numerical approximation of airflow inside an agricultural structure model, 7th National Congress of Hellenic society of agricultural engineers, Athens November, 2011, Greece.

ΑΠΟΔΟΤΙΚΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΤΗΝ ΟΡΟΦΗ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΩΝ

Ιωάννης Τρυπαναγνωστόπουλος, Παναγιώτης Ζαφειράκης, Βασιλική Μπρούνου
Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Φυσικής, Πάτρα, Τ.Κ. 26500, e-mail: yiantrip@physics.upatras

Παρουσιάζονται διατάξεις εγκατάστασης φωτοβολταϊκών πάνω σε θερμοκήπια, ως προέκταση ερευνητικών μελετών συνδυασμένης χρήσης φβ πλαισίων και ανακλαστήρων. Η μέθοδος αυτή συνίσταται στην χρήση διάχυτων ανακλαστήρων για την αύξηση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας σε φβ πλαίσια. Οι διάχυτοι ανακλαστήρες ανακλούν την ηλιακή ακτινοβολία προς διάφορες κατευθύνσεις και επιτυγχάνουν έτσι μια σχετικά ομοιόμορφη κατανομή της επιπλέον ηλιακής ακτινοβολίας στην επιφάνεια των φωτοβολταϊκών. Στην περίπτωση των θερμοκηπίων με αλληλουχία μονάδων και επαναλαμβανόμενες δίριχτες οροφές, με εναλλάξ νότια και βόρεια, τον ρόλο του διάχυτου ανακλαστήρα έχουν οι βόρειες επιφάνειες της οροφής, λόγω της μεγάλης γωνίας ανάκλασης της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας στις διαφανείς αυτές επιφάνειες. Η ανακλώμενη ηλιακή ακτινοβολία προς τα φβ που είναι εγκατεστημένα στις νότιες πλευρές, αυξάνει την προσλαμβανόμενη ηλιακή ενέργεια με συνέπεια την αύξηση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας. Με την μέθοδο αυτή είναι δυνατή μια σχετική «ελάφρυνση» της νότιας οροφής του θερμοκηπίου από φβ πλαίσια και αύξηση του φωτισμού στον εσωτερικό χώρο του θερμοκηπίου προς όφελος της καλλιέργειας. Από τα πειράματα που έγιναν διαπιστώθηκε αύξηση της ισχύος των φβ ακόμη και 30%. Επίσης μελετήθηκαν και άλλοι τρόποι προσθήκης φβ στην οροφή των θερμοκηπίων, που να προκαλούν όσο το δυνατόν μικρή σκίαση στο εσωτερικό τους, ώστε να εξαχθούν συμπεράσματα για την αποτελεσματικότητά τους.

Λέξεις κλειδιά: θερμοκήπιο, φωτοβολταϊκά, ηλεκτρική απόδοση, διάχυτοι ανακλαστήρες

EFFECTIVE INSTALLATION OF PHOTOVOLTAICS ON THE ROOFS OF GREENHOUSES

Yiannis Tripanagnostopoulos, Panagiotis Zafeirakis, Vasiliki Brounou
University of Patras, Department of Physics, Patra 26500, Greece, e-mail: yiantrip@physics.upatras.gr

The effective installation of photovoltaics on the roofs of greenhouses is presented. The proposed system can be considered as an extension of studied systems that combine photovoltaics and reflectors and could be suitable to be applied at greenhouses. The investigated method for the considered application of photovoltaics on greenhouse roofs is to increase the solar input to PV modules by using diffuse reflectors. The diffuse reflectors can be effectively combined with photovoltaics as they achieve an almost homogenous distribution of solar radiation density on module surface. In the case of greenhouses which have a sequence of doubled sided roofs, one to south and the other to north, the role of the diffuse reflector has the transparent cover of the north side, as the angle of reflectance for the input solar radiation is large. In this way, the reflected solar radiation that is transmitted to the side that looks to south increases the absorbed solar radiation and therefore increases the electrical output. By this method, the PV installation can be “lighter” in the number of PV panels and it will result to an effective lighting of the interior greenhouse space with benefits to the planting. The laboratory experiments showed that the suggested method can increase electrical output by 30%. In addition, some other modes for the effective installation of photovoltaics on greenhouses were studied, in order to extract useful results.

Key words: greenhouse, photovoltaics, electrical efficiency, diffuse reflectors

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα θερμοκήπια είναι σύνθετα παραγωγικά συστήματα αγροτικών προϊόντων και απαιτούν βέλτιστη συνέργεια μεταξύ επιμέρους στοιχείων και διαδικασιών, όπου περιλαμβάνονται ο φωτισμός, η ενέργεια θέρμανσης και δροσισμού και ο αερισμός. Σχετικά με τον φωτισμό, υπάρχει αναγκαιότητα για κατάλληλο φωτισμό, όμως το μεγαλύτερο μέρος της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας αυξάνει την εσωτερική θερμοκρασία του θερμοκηπίου και το υψηλό επίπεδο φωτισμού υπερθερμαίνει συχνά τα θερμοκήπια και προκαλεί ανωμαλίες στην ανάπτυξη των φυτών. Οι υψηλές θερμοκρασίες αποφεύγονται με τον εξαερισμό και την σκίαση, ενώ οι χαμηλές θερμοκρασίες αντιμετωπίζονται συνήθως με τεχνητή θέρμανση. Η καύση βιομάζας, η χρήση διαφόρων τεχνικών αποθήκευσης θερμότητας την ημέρα για υποβοήθηση των θερμικών αναγκών την νύχτα, οι θερμοκουρτίνες οροφής και η γεωθερμία (όπου αυτή είναι διαθέσιμη) είναι εναλλακτικοί τρόποι για την εξοικονόμηση συμβατικών ενεργειακών πηγών τον χειμώνα. Για την θερινή περίοδο, οι υψηλές τιμές της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας και αυξημένες θερμοκρασίες του αέρα αντιμετωπίζονται συνήθως με αποφυγή περίσσειας φωτισμού, περιορίζοντας τη διαπερατότητα του διαφανούς καλύμματος, με πλήρη αερισμό του θερμοκηπίου καθώς και με άλλους τρόπους δροσισμού.

Μεταξύ των υλικών κάλυψης των θερμοκηπίων, το γυαλί είναι το σταθερότερο και με ικανοποιητικές οπτικές και θερμικές ιδιότητες, παρά το μεγαλύτερο κόστος σχετικά με τα διαφανή πλαστικά καλύμματα. Μια εναλλακτική πρόταση για υλικό κάλυψης και έλεγχο του φωτισμού και των ενεργειακών αναγκών των θερμοκηπίων είναι η χρήση των φακών Fresnel σε συνδυασμό με γραμμικούς θερμικούς, φβ ή φβ/θ

απορροφητές (Tripanagnostopoulos et al, 2007), η οποία εφαρμόστηκα αρχικά από τους Jirka et al το 1998. Επίσης, για την αντιμετώπιση των θερμικών και ηλεκτρικών αναγκών των θερμοκηπίων μέσω ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, έχουν προταθεί διάφοροι μέθοδοι περιλαμβανομένου και του συνδυασμού ηλιακής και αιολικής ενέργειας (Tripanagnostopoulos et al, 2004). Ακόμη, για παραγωγή κυρίως ηλεκτρικής ενέργειας για τις ανάγκες των θερμοκηπίων προτάθηκε η κατάλληλη εγκατάσταση φωτοβολταϊκών πλαισίων στην οροφή τους (Rocamora and Tripanagnostopoulos, 2006). Στην κατεύθυνση αυτή παρουσιάστηκαν εμπορικά συστήματα με εγκατάσταση φβ στην οροφή θερμοκηπίων, όπου όμως η μεγάλη κάλυψη γίνεται συνήθως σε βάρος του φωτισμού του εσωτερικού χώρου. Στην παρούσα εργασία προτείνεται η εγκατάσταση φβ στην οροφή των θερμοκηπίων με μικρή σχετικά κάλυψη της επιφάνειάς τους, ώστε να υπάρχει αντίστοιχα και μικρή επιβάρυνση στη μείωση του φωτισμού.

2. ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ

2.1. Ηλιακή ακτινοβολία στο θερμοκήπιο

Αρκετές μέθοδοι έχουν προταθεί για τον έλεγχο των περιβαλλοντικών παραγόντων στα θερμοκήπια (ακτινοβολία, θερμοκρασία, υγρασία, κλπ), ανάλογα με τις επικρατούσες κλιματολογικές συνθήκες, την εφαρμογή και τις τεχνικές λεπτομέρειες κατασκευής τους. Κάθε ένας από τους παράγοντες αυτούς έχει επιπτώσεις στην ανάπτυξη των φυτών χωριστά ή σε συνδυασμό, και μεταξύ αυτών η εισερχόμενη στο θερμοκήπιο ηλιακή ακτινοβολία είναι ο βασικός παράγοντας για την φωτοσύνθεση και την ανάπτυξή τους. Τα διαφανή καλύμματα παίζουν σημαντικό ρόλο τόσο ως προς την ποσότητα όσο και ως προς την ποιότητα (φάσμα) της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας. Έχουν πραγματοποιηθεί διάφορες μελέτες για τη μετάδοση της ηλιακής ακτινοβολίας (Papadakis et al, 1998, Pollet and Pieters, 2000) και την επίδραση των διαφανών καλυμμάτων (Papadakis et al, 1998, Kittas et al, 1999), καθώς και για τους παράγοντες που επηρεάζουν την αρχιτεκτονική των θερμοκηπίων στις ευρωπαϊκές χώρες (Von Elsner et al, 2000).

Στις χώρες μικρού γεωγραφικού πλάτους, όπως είναι η Ελλάδα και άλλες Μεσογειακές χώρες, τη θερινή περίοδο αλλά και κατά τη διάρκεια του χρονικού διαστήματος μεταξύ άνοιξης και φθινοπώρου, η ηλιακή ακτινοβολία καλύπτει επαρκώς τις ανάγκες των καλλιεργούμενων φυτών στα θερμοκήπια. Το χειμώνα, η ηλιακή ακτινοβολία δεν επαρκεί να καλύψει πλήρως τις ανάγκες των φυτών και ο τεχνητός φωτισμός μπορεί να συμβάλει ουσιαστικά σε αυτό. Στην Ελλάδα, ακόμη και κατά τη διάρκεια του χειμώνα, η ηλιακή ακτινοβολία είναι υψηλή και η θερμοκρασία αυξάνεται πολλές φορές πάνω από τα βιώσιμα όρια των φυτών. Ο φυσικός και τεχνητός εξαερισμός, η μείωση των θερμοκρασιών αέρα στο θερμοκήπιο με την εξάτμιση ύδατος και την σκίαση είναι απαραίτητες μέθοδοι για τη μείωση της θερμοκρασίας. Για να αποφευχθεί η υψηλή ποσότητα φωτισμού το καλοκαίρι και σε άλλες περιόδους στη διάρκεια του έτους και για να κρατηθεί η θερμοκρασία των θερμοκηπίων σε ένα βιώσιμο όριο είναι απαραίτητος ο έλεγχος της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας. Έχουν εφαρμοστεί διάφοροι μέθοδοι σκίασης για τη μείωση της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας, απλοί και σύνθετοι, που χρειάζονται μηχανισμούς και κατανάλωση υψηλών ποσοτήτων ενέργειας. Οι πιο κοινές μέθοδοι μείωσης του φωτισμού στα θερμοκήπια είναι η χρήση ειδικών λευκών χρωμάτων και η χρήση κουρτινών, οι οποίες μπορούν να συνδυαστούν με τον τεχνητό εξαερισμό και σύστημα ψύξης μέσω της εξάτμισης του νερού. Τα διαφανή καλύμματα καθορίζουν το εσωτερικό μικροκλίμα των θερμοκηπίων και το γυαλί θεωρείται κατάλληλο υλικό για διαφανή κάλυψη λόγω των πολύ καλών ιδιοτήτων του σχετικά με τη μετάδοση ακτινοβολίας και τη σταθερότητα, σε σχέση με το πλαστικό. Όσον αφορά το κόστος, το γυαλί έχει σχεδόν το ίδιο κόστος με τα πλαστικά καλύμματα μετά από περίπου δέκα έτη λειτουργίας λόγω της αντικατάστασής τους 2-3 φορές.

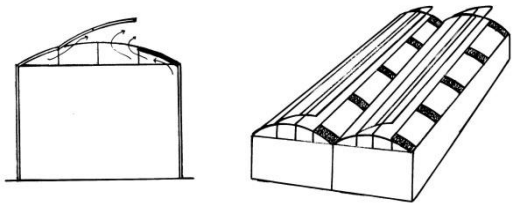
2.2. Εγκατάσταση φβ στην οροφή θερμοκηπίων

Από την έρευνα του Εργαστηρίου Ηλιακής Ενέργειας στο Παν/μιο Πατρών έχει προκύψει μέθοδος βελτίωσης της αποδιδόμενης ενέργειας από φβ εγκαταστάσεις σε οριζόντιες οροφές κτιρίων ή στο έδαφος (Tripanagnostopoulos et al 2002, Tripanagnostopoulos, 2007). Η μέθοδος αυτή μπορεί να αξιοποιηθεί κατάλληλα στις περιπτώσεις που εγκαθίστανται φβ πάνω στην οροφή των θερμοκηπίων. Κατ' αρχήν πρέπει να αναφερθεί ότι η ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει τελικά στα φυτά εντός του θερμοκηπίου είναι μειωμένη λόγω της παρεμβολής πολλών μεταλλικών κυρίως στοιχείων κάτω από την οροφή τους. Η μείωση αυτή μπορεί να φτάνει και το 20% και έτσι η προσθήκη φβ πλαισίων στην οροφή του θερμοκηπίου θα επιβαρύνει ακόμη περισσότερο τον επαρκή φωτισμό των φυτών.

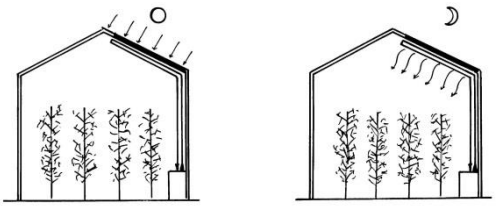
Για την αποδοτική εγκατάσταση φβ πλαισίων στην οροφή των θερμοκηπίων είναι απαραίτητο να περιοριστεί η σκίαση του εσωτερικού τους από τα μεταλλικά στοιχεία. Μια μείωση στο μισό θα δώσει τη δυνατότητα να γίνει εγκατάσταση φβ πλαισίων που να μην επιφέρουν πρόσθετη επιβάρυνση στον φωτισμό των φυτών, σε σύγκριση με το θερμοκήπιο που έχει την συνηθισμένη σκίαση από τα μεταλλικά στοιχεία. Έτσι απαιτείται μεταλλικός σκελετός από πιο λεπτές αλλά και πιο σκληρές ράβδους, λιγότερα πρόσθετα στοιχεία για κουρτίνες σκίασης, σωλήνες αερισμού, κλπ. Αν μειωθεί η σκίαση των μεταλλικών και άλλων στοιχείων στο 10% ή πιο κάτω, τότε μια κατάλληλου σχεδιασμού εγκατάσταση φβ με κάλυψη 10% της επιφάνειας του θερμοκηπίου είναι αποδεκτή και χωρίς δυσμενή επίδραση στην ανάπτυξη των φυτών. Τα θερμοκήπια έχουν συνήθως κατά μήκος προσανατολισμό ανατολή-δύση ή βορράς-νότος, του άξονά τους. Στην περίπτωση των δίριχτων ή τοξοτών

θερμοκηπίων που έχουν προσανατολισμό ανατολή-δύση, η οροφή τους έχει την μία πλευρά στραμμένη προς νότο και την άλλη προς βορρά. Με την διάταξη αυτή είναι δυνατόν να αξιοποιείται ενεργειακά η προς νότο στραμμένη επιφάνεια με την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών ενώ η προς βορρά στραμμένη επιφάνεια της οροφής να λειτουργεί ως ανακλαστήρας της ηλιακής ακτινοβολίας, ώστε η κατεύθυνση των ανακλώμενων ακτίνων να είναι προς τα φβ πλαίσια της νότιας πλευράς της οροφής.

Η διάταξη αυτή μπορεί να θεωρηθεί ότι είναι ένα παράδειγμα εφαρμογής της μεθοδολογίας που έχει αναπτυχθεί στο Εργαστήριο Ηλιακής Ενέργειας για την αξιοποίηση των ανακλαστήρων στις ηλιακές διατάξεις θερμικών συλλεκτών και φωτοβολταϊκών. Στην παρούσα εργασία εξετάζεται κατά πόσον η διάταξη ανακλαστήρας – φβ πλαίσια παρέχει αυξημένη προσπίπτουσα ακτινοβολία στα φβ πλαίσια και κατά συνέπεια αν συμβάλει σε αυξημένη αποδιδόμενη ηλεκτρική ενέργεια από αυτά.



Εικόνα 1. Εγκατάσταση φβ στην οροφή θερμοκηπίου με κατάλληλη διάταξη για τον φωτισμό του.



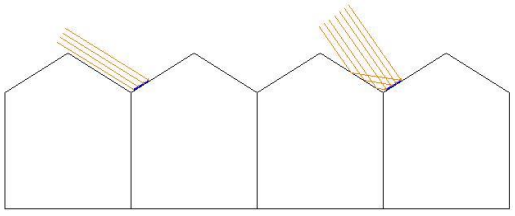
Εικόνα 2. Χρήση φβ/θ συλλεκτών και αποθήκευσης θερμότητας για ημερήσιο δροσισμό και νυχτερινή θέρμανση του εσωτερικού χώρου του θερμοκηπίου.

Το θέμα που έχουν τα φωτοβολταϊκά σχετικά με την πρόσθετη ηλιακή ακτινοβολία στην επιφάνειά τους είναι πως πρέπει να υπάρχει μια ομοιόμορφη κατανομή της ακτινοβολίας για να μην υπάρξει πρόβλημα με την ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται. Στην περίπτωση που τόσο τα φβ πλαίσια όσο και οι ανακλαστικές επιφάνειες είναι σταθερές, τότε οι ανακλαστήρες πρέπει να είναι διάχυτοι για να επιτυγχάνουν μια όσο το δυνατόν πιο ομοιόμορφη κατανομή της πυκνότητας της ηλιακής ακτινοβολίας στην επιφάνεια των φβ πλαισίων. Αν όμως χρησιμοποιηθούν κατοπτρικοί ανακλαστήρες, τότε δημιουργούνται έντονες αντιθέσεις φωτισμού επί των φβ πλαισίων με αποτέλεσμα την μείωση της απόδοσής τους.

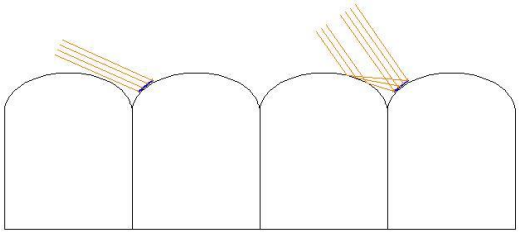
Στα θερμοκήπια που έχουν νότια φωτιζόμενη πλευρά της δίριχτης οροφής τους, τον ρόλο του διάχυτου ανακλαστήρα θα τον έχουν οι διαφανείς επιφάνειες της δίριχτης οροφής του θερμοκηπίου που έχουν βόρειο προσανατολισμό, λόγω της αυξημένης έντασης της ανακλώμενης ακτινοβολίας από την μεγάλη γωνία ανάκλασης της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας σε αυτές τις επιφάνειες. Έτσι, στα θερμοκήπια που έχουν αλληλουχία μονάδων με δίριχτες ή τοξοτές οροφές, η ανακλώμενη ηλιακή ακτινοβολία συμβάλει στην αύξηση της ηλιακής ακτινοβολίας στα φβ πλαίσια και αύξηση της ηλεκτρικής τους ενέργειας.

Με την κατάλληλη αξιοποίηση αυτής της διάταξης είναι δυνατή μια σχετική «ελάφρυνση» της νότιας οροφής του θερμοκηπίου από φβ πλαίσια, ενώ δεν θα υπάρχει και μεγάλη μείωση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας λόγω της πρόσθετης ηλιακής ενέργειας στα φβ πλαίσια από την ανακλώμενη δέσμη της βόρειας οροφής. Με τον τρόπο αυτό αποφεύγεται, σε έναν βαθμό, η μείωση του φωτισμού του εσωτερικού χώρου του θερμοκηπίου, προς όφελος της καλλιέργειας,

Στην Εικ. 1 δείχνεται σχεδιαστικά η πρόταση για την εγκατάσταση φβ πλαισίων στην οροφή ενός θερμοκηπίου, όπου τα φβ δεν σκιάζουν συνεχώς την ίδια περιοχή μέσα στο θερμοκήπιο. Τα φβ αυτά πλαίσια μπορεί να φέρουν και θερμική μονάδα στην πίσω πλευρά τους (συλλέκτης φβ/θ) και σύστημα αποθήκευσης θερμότητας, ώστε να μπορούν να λειτουργούν για τον δροσισμό του θερμοκηπίου την ημέρα, σαν συστήματα απολαβής της θερμότητας και μετά σαν συστήματα θέρμανσης του χώρου του θερμοκηπίου την νύχτα, όπως φαίνεται στην Εικ. 2.



Εικόνα 3. Προτεινόμενη διάταξη για την αξιοποίηση της απέναντι πλευράς της οροφής του θερμοκηπίου ως ανακλαστήρα προς τα φβ πλαίσια.



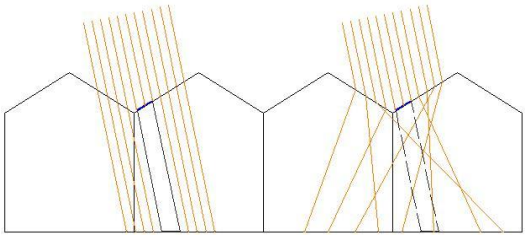
Εικόνα 4. Σχεδιαστική παρουσίαση της διάταξης που προτείνεται για εφαρμογή σε τοξοτά θερμοκήπια.

Μια σχεδιαστική παρουσίαση της διάταξης που προτείνεται να εφαρμοστεί στα δίριχτης και στα

τοξοτής οροφής θερμοκήπια, είναι στη Εικ.3 και στην Εικ. 4 αντίστοιχα. Στις εικόνες αυτές φαίνεται η τοποθέτηση που συνίσταται για τα φβ πλαίσια (στο προς τα κάτω μέρος της οροφής) για την βέλτιστη αξιοποίηση της απέναντι πλευράς της οροφής του θερμοκηπίου ως ανακλαστήρα και την αύξηση της ηλιακής ακτινοβολίας στα φβ πλαίσια.

Τα πειράματα που έγιναν σε εξομοιωτική διάταξη στο εργαστήριο και σε συνθήκες φυσικού ηλιασμού με φωτοβολταϊκά πλαίσια και διαφανή πλαστικές επιφάνειες σε επίπεδη και σε καμπυλωτή φόρμα, έδειξαν μια αύξηση της ηλιακής ακτινοβολίας από 10% έως 30% ανάλογα της γωνίας πρόσπτωσης της ακτινοβολίας στην διαφανή πλαστική επιφάνεια.

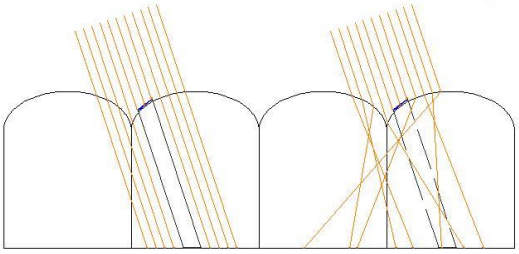
Η εξομοιωτική διάταξη ήταν μια εργστηριακή ιδιοκατασκευή από διαφανές πλαστικό φύλλο, που αντιστοιχούσε στο σχήμα μιας (α) δίριχτης και (β) μιας τοξοτής οροφής θερμοκηπίου σε μικρότερο μέγεθος (1:5). Στην κατασκευή αυτή τοποθετείτο φωτοβολταϊκό πλαίσιο που είχε μικρότερη επιφάνεια των κανονικών φβ πλαισίων (σε αναλογία περίπου 1:5) όπως θα ήταν σε πραγματικό θερμοκήπιο που δείχνεται στις Εικ. 3 και 4. Μετην διάταξη αυτή έγιναν πειράματα με τον ήλιο στον χώρο δοκιμών του Εργαστηρίου, όπου καταγράφονταν οι τιμές της ηλιακής ακτινοβολίας στις επιφάνειες του πλαστικού φύλλου και φβ πλαισίου (χωρίς την ανακλώμενη και με την ανακλώμενη), οι θερμοκρασία στο φβ πλαίσιο και η θερμοκρασία περιβάλλοντος και τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του φβ πλαισίου (τάση και ένταση) για τον καθορισμό της παραγόμενης ηλεκτρικής ισχύος. Από τις μετρήσεις που έγιναν για την αποδιδόμενη ηλεκτρική ενέργεια από τα φβ πλαίσια διαπιστώθηκε μια αντίστοιχη αύξηση σε σχέση με την αποδιδόμενη ηλεκτρική ενέργεια των φβ πλαισίων αναφοράς, (χωρίς πρόσθετη ανακλώμενη ηλιακή ακτινοβολία).. Με την αύξηση της ηλιακής ακτινοβολίας και αποδιδόμενης ηλεκτρικής ενέργειας είναι δυνατός κάποιος περιορισμός στον αριθμό των φβ πλαισίων στην οροφή του θερμοκηπίου για βελτίωση του φωτισμού του εσωτερικού χώρου του θερμοκηπίου.



Εικόνα 5. Διάχυτο διαφανές κάλυμμα των δίριχτων θερμοκηπίων για εξομάλυνση της σκίασης από τα φβ πλαίσια.

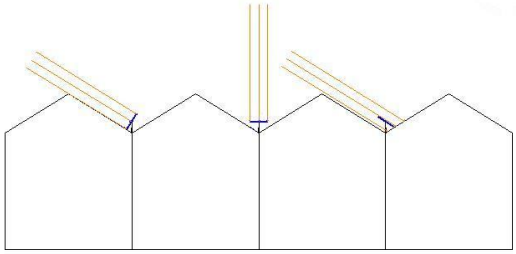
Εκτός από την «ελάφρυνση» του αριθμού των φβ πλαισίων στην οροφή των θερμοκηπίων ένα ακόμη θέμα που είναι απαραίτητο να ληφθεί υπ' όψιν για τον σωστό φωτισμό εντός του θερμοκηπίου είναι η αποφυγή της έντονης σκιάς στον εσωτερικό χώρο του από τα φβ πλαίσια. Για την αποφυγή της σκίασης αυτής το διαφανές κάλυμμα αντί να είναι «διαυγές» πρέπει να διαχέει το φως στο εσωτερικό του θερμοκηπίου, όπως φαίνεται χαρακτηριστικά στα σχήματα των Εικ.5 και Εικ.6 για τα θερμοκήπια δίριχτης και τοξοτής οροφής αντίστοιχα.

Για να εκτιμηθεί το θέμα αυτό χρησιμοποιήθηκε η προαναφερθείσα εξομοιωτική διάταξη, όπου πάνω στο πλαστικό φύλλο τοποθετήθηκαν μικρού μεγέθους χαρτόνια, για να εξομοιώνουν τοποθέτηση φβ πλαισίων και έγιναν πειράματα (καταγραφή της προσπίπτουσας και της διερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας από το πλαστικό φύλλο), για να προσδιοριστεί η κατανομή της ηλιακής ακτινοβολίας στο εσωτερικό χώρο του «θερμοκηπίου». Για την μέτρηση της κατανομής της ηλιακής ακτινοβολίας χρησιμοποιήθηκε φβ αισθητήρας, με τον οποίο «σαρώθηκε» η επιφάνεια «εδάφους» στον χώρο που σχηματίζεται κάτω από το διαφανές πλαστικό κάλυμμα της εξομοιωτικής διάταξης.



Εικόνα 6. Διάχυτο διαφανές κάλυμμα των τοξοτών θερμοκηπίων για εξομάλυνση της σκίασης από τα φβ πλαίσια.

Από τις μετρήσεις που έγιναν αποδείχτηκε πως το διάχυτο κάλυμμα εξουδετερώνει σε μεγάλο βαθμό την έντονη σκίαση που προέρχεται από τα φβ πλαίσια προς συγκεκριμένη περιοχή, ανάλογα της θέσης του ήλιου, εντός του θερμοκηπίου. Έτσι, η ένταση στις περιοχές της σκίασης ήταν στο 50% της σκίασης σε σχέση με «διαυγές» κάλυμμα.

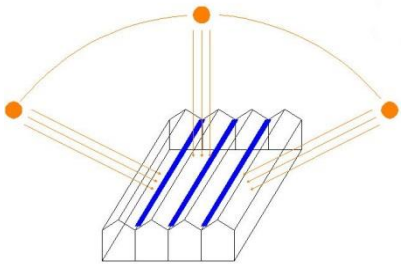


Εικόνα 7. Εγκατάσταση προσανατολιζόμενων στον ήλιο φβ πλαισίων για βέλτιστη ημερήσια λειτουργία και έλεγχο της σκίασης του εσωτερικού χώρου.

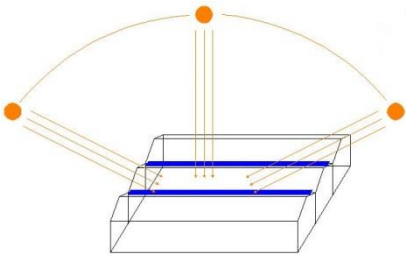
Μια άλλη πρόταση για εφαρμογή φβ πλαισίων στα θερμοκήπια είναι αυτή που δείχνεται στην Εικ.7. Η εγκατάσταση και αποδοτική λειτουργία αυτών των φωτοβολταϊκών διατάξεων γίνεται σε διαμήκεις βάσεις και δυνατότητα κινήσεων προσανατολισμού στον ήλιο. Με τον τρόπο αυτό τα φβ πλαίσια προσλαμβάνουν κατά τη διάρκεια της ημέρας το

μέγιστο της ηλιακής ακτινοβολίας. Επίσης, η χρήση διάχυτου διαφανούς καλύμματος συμβάλει στην εξομάλυνση του φωτισμού-σκίασης του εσωτερικού χώρου, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως.

Στις Εικ. 8 και Εικ. 9 δείχνονται δύο τρόποι για την εγκατάσταση διατάξεων προσανατολισμού στον ήλιο, ανάλογα αν οι άξονες που τοποθετούνται τα φβ πλαίσια έχουν διεύθυνση βορράς-νότος ή ανατολή-δύση αντίστοιχα. Στην περίπτωση που χρειάζεται να μην σκιαστεί ο εσωτερικός χώρος από τα φβ πλαίσια, η διάταξη μπορεί να ρυθμίσει κατάλληλα την θέση τους ως προς την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία και να αφήνει τις ηλιακές ακτίνες να «περνούν» πάνω και κάτω των φβ πλαισίων και να εισέρχονται στο θερμοκήπιο.



Εικόνα 8. Φωτισμός των φωτοβολταϊκών σε διάταξη βορράς-νότος των θερμοκηπιακών μονάδων



Εικόνα 9. Φωτισμός των φωτοβολταϊκών σε διάταξη ανατολή-δύση των θερμοκηπιακών μονάδων.

3. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Προτείνονται ορισμένες μέθοδοι για αύξηση της ηλιακής ακτινοβολίας στην επιφάνεια φβ πλαισίων που τοποθετούνται στην οροφή των θερμοκηπίων. Με τις μεθόδους αυτές είναι δυνατή η αύξηση της αποδιδόμενης ηλεκτρικής ενέργειας μέχρι και 30%. Η εγκατάσταση φβ πλαισίων στην οροφή των θερμοκηπίων μειώνει την ηλιακή ακτινοβολία στον εσωτερικό χώρο και γιαυτό η κάλυψη της οροφής πρέπει να είναι η ελάχιστη δυνατή. Με την προτεινόμενη αξιοποίηση της ανακλώμενης ηλιακής ακτινοβολίας, σε συνδυασμό με σχετική μείωση των μεταλλικών στοιχείων που βρίσκονται κάτω από την οροφή, εκτιμάται ότι επιτυγχάνεται ένας βέλτιστος τρόπος χρήσης φβ στα θερμοκήπια. Φυσικά, για να αποδειχτεί η πραγματική επίδραση στην ανάπτυξη των φυτών απαιτείται να γίνει πειραματική καλλιέργεια σε πραγματικές συνθήκες σε κανονική θερμοκηπιακή εγκατάσταση.

Επίσης προτείνεται η χρήση διάχυτων διαφανών καλυμμάτων στις οροφές των θερμοκηπίων με τα εγκατεστημένα φωτοβολταϊκά για εξομάλυνση του φωτισμού και της σκίασης εντός του χώρου του. Τα αποτελέσματα από την εξομοιωτική διάταξη έδειξαν πως η σκίαση από τα φβ πλαίσια στην οροφή των θερμοκηπίων με διάχυτο κάλυμμα δεν έχει έντονες αυξομειώσεις φωτισμού καθώς η διάχυση του φωτός «εξουδετερώνει» τις έντονες σκιές. Εναλλακτική διάταξη φβ στα θερμοκήπια μπορεί να είναι και το σύστημα προσανατολισμού των φβ πλαισίων στον ήλιο κατά τη διάρκεια της ημέρας, για περισσότερη προσλαμβάνουσα ηλιακή ακτινοβολία σε σχέση με τα στατικά φβ πλαίσια.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Jirka, V., Kuceravy, V., Maly, M., Pokorny, J., Rehor, E. 1998. The architectural use of glass raster lenses. In: Proceedings of the World. Renewable Energy Congress V, Part III, 1595–1598.

Kittas C., Baille A., Giaglaras P. 1999. Influence of covering material and shading on the spectral distribution of light in greenhouses. J. Agric. Eng. Res. 73: 341-351

Papadakis G., Briassoulis, Mugnozza Scarascia G., Vox G., Feuilloley P., Stoffers J.A. 2000. Radiometric and thermal properties of, and testing methods for, greenhouse covering materials. J. Agric. Engng. Res. 77: 7-38

Papadakis G., Manolakos D., Kyritsis S. 1998. Solar radiation transmissivity of a single-span greenhouse through measurements on scale model. J. Agric. Engng. Res. 71: 331-338

Pollet I.V., Pieters J.G. 2000. Condensation and radiation transmittance of greenhouse cladding materials, part 3: Results for glass plates and plastic films. J. Agric. Engng. Res. 77: 419-429

Rocamora M. C., Tripanagnostopoulos Y. 2006. Aspects of PV/T solar system application for ventilation needs in greenhouses. Acta Horticulturae 719: 239-245.

Tripanagnostopoulos Y. 2007. Aspects and improvements of hybrid photovoltaic/thermal solar energy systems. Solar Energy 81 (9): 1117-1131.

Tripanagnostopoulos Y. and Souliotis M. 2005. Booster Reflector Contribution to Performance Improvement of Solar Collectors. Proc. in CD, Int. Conf. WREC 2005: 63–68, Aberdeen, Scotland, UK, 22–27 May 2005.

Tripanagnostopoulos Y., Nousia, Th. Souliotis M. and Yianoulis P. 2002. Hybrid Photovoltaic/Thermal Solar Systems, Solar Energy 72, No 3, 217–234

Tripanagnostopoulos Y., Siabekou Ch. and Tonui J. K. 2007. The Fresnel lens concept for solar control of buildings. Solar Energy 81 (5): 661-675.

Tripanagnostopoulos Y., Souliotis M., Tonui J. K. and Kavga A. 2004. Greenhouse energy supply by solar/wind systems. In Proc (CD) Int. Conf Greensys2004, Leuven 12–16 Sep 2004.

Von Elsner B., Briassoulis D., Waaijenberg D., Mistriotis A., Von Zabeltitz Chr., Gratraud J., Russo G., Suay-Cortes R. 2000. Review of structural and functional characteristics of greenhouses in European Union countries, part I: Designs requirements. J. Agric. Eng. Res. 75: 1-16.

ΑΡΔΕΥΣΗ ΤΗΣ ΤΟΜΑΤΑΣ ΜΕ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΜΕΝΑ ΑΣΤΙΚΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ: ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ *IN SITU* ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΩΝ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΑΡΔΕΥΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ, ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΤΩΝ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΩΝ ΚΑΡΠΩΝ

Γεώργιος Ψαρράς[1], Κων/νος Χαρτζουλάκης[1], Ιωάννης Κασαπάκης[1], Wolfram Kloppmann[2]
[1]ΕΛΓΟ Δήμητρα, Ινστιτούτο Ελιάς και Υποτροπικών Φυτών Χανίων, Αγροκήπιο, 73100 Χανιά
[2]BRGM Service EAU, Orléans, France

Μελετήθηκαν οι επιδράσεις διαφορετικών τεχνικών άρδευσης και ενός συστήματος επεξεργασίας αστικών αποβλήτων στην παραγωγή, ποιότητα και ασφάλεια των παραγόμενων καρπών σε καλλιέργεια τομάτας. Εφαρμόσθηκαν 9 χειρισμοί, συνδυάζοντας 3 τεχνικές άρδευσης (πλήρης, ελεγχόμενη ελλειμματική άρδευση και μερική διαβροχή του ριζικού συστήματος), 2 ποιότητες νερού (καλής ποιότητας και αστικά απόβλητα δευτεροβάθμιας επεξεργασίας) και 2 βάθη εφαρμογής (0 και 15 εκατοστά). Τα αστικά απόβλητα χρησιμοποιήθηκαν μετά από μια επιπλέον επεξεργασία στον αγρό που περιελάμβανε: α) προσθήκη βαρέων μετάλλων (As, Cd, Cr, Cu, Pb), β) φίλτρο άμμου, γ) φίλτρο απομάκρυνσης βαρέων μετάλλων, και δ) υπεριώδη ακτινοβολία. Μετρήθηκε το βάρος και ο αριθμός των παραγόμενων καρπών και έγιναν αναλύσεις σε δείγματα καρπών για ολικά στερεά και οξύτητα. Σε δείγματα νερού άρδευσης, αποβλήτων, εδάφους και καρπών προσδιορίστηκαν τα επίπεδα των βαρέων μετάλλων και οι πληθυσμοί *E. coli*, ολικών κολοβακτηριδίων και ολικών βακτηρίων. Η παραγωγή καρπών ήταν ελαφρώς χαμηλότερη (5-7%) στους χειρισμούς ελλειμματικής άρδευσης, όμως η αποτελεσματικότητα στη χρήση του νερού άρδευσης αυξήθηκε κατά 20%. Δεν ανιχνεύθηκαν πληθυσμοί *E. coli* σε κανένα δείγμα αποβλήτων μετά την επεξεργασία, όπως και σε κανένα δείγμα καρπών που αρδεύονταν με τα επεξεργασμένα αστικά απόβλητα. Ο αριθμός των δειγμάτων εδάφους όπου ανιχνεύθηκαν *E. coli* ήταν παρόμοιος τόσο στον μάρτυρα όσο και στον χειρισμό άρδευσης με απόβλητα, ένδειξη που υποδηλώνει ότι η παρουσία των βακτηρίων οφείλεται σε εξωγενείς παράγοντες. Ο συνδυασμός φίλτρου άμμου και φίλτρου απομάκρυνσης βαρέων μετάλλων υπήρξε αποτελεσματικός στην απομάκρυνση των βαρέων μετάλλων, και δεν παρατηρήθηκαν διαφοροποιήσεις μεταξύ των χειρισμών στα επίπεδα βαρέων μετάλλων στο έδαφος και τους καρπούς.

Λέξεις κλειδιά: τομάτα, άρδευση, αστικά απόβλητα, βαρέα μέταλλα, *E. coli*, ποιότητα καρπών

IRRIGATION OF TOMATO WITH TREATED WASTEWATER: EVALUATION OF *IN SITU* TREATMENT SYSTEM AND EFFECTS OF DIFFERENT IRRIGATION TECHNIQUES ON YIELD, QUALITY AND SAFETY OF TOMATO FRUIT

Georgios Psarras[1], Konstantinos Chartzoulakis[1], Ioannis Kasapakis[1], Wolfram Kloppmann[2]
[1]NAGREF, Institute for Olive Tree and Subtropical Plants of Chania, Agrokipio, 73 100, Chania, Greece
[2]BRGM Service EAU, Orléans, France
gpsarras@nagref-cha.gr, kchartz@nagref-cha.gr

The effects of different irrigation techniques and water qualities on tomato yield, fruit quality and health risks were investigated under field conditions in Crete. Nine irrigation treatments were applied, combining 3 water quantities: full irrigation (FI), regulated deficit irrigation (RDI) and partial root drying (PRD), 2 water qualities: fresh water (FW) and secondary treated municipal wastewater (WW), and 2 depths of application: 0 (S) and 15 cm (SS). Secondary-treated wastewater was used after an on site treatment including: a) heavy metal (As, Cd, Cr, Cu, Pb) addition, b) sand filter, c) heavy metal removal (HMR), and d) UV treatment. The fruit yield was measured, while fruit samples were analyzed for total soluble solids and titratable acidity. Samples of irrigation water, soil and fruit were analyzed for heavy metals, *E. coli*, total coliform and total bacterial populations. Commercial fruit yield under deficit irrigation remained 5-7% lower compared to the fully-irrigated treatment, mostly due to an increase of the non-commercial fruit, while water use efficiency for harvested yield was increased by 20%. The UV treatment was efficient in removing *E. coli* from the WW, with no sample detected as *E. coli*-positive. No *E. coli* populations were detected on harvested fruit, while the number of *E. coli*-positive soil samples was similar in both FW and WW treatments, indicating soil contamination by exogenous factors. The combination of sand filter and HMR unit was efficient in removing heavy metals, resulting in no differentiation of soil and fruit heavy metal content between FW and WW treatments.

Key words: tomato, irrigation, wastewater, heavy metals, *E. coli*, fruit quality

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η παραγωγή φρούτων και λαχανικών βασίζεται πλέον στην άρδευση, ακόμη και για καλλιέργειες ανθεκτικές στην έλλειψη νερού, με στόχο την μεγιστοποίηση της παραγωγής. Το 70% περίπου της χρήσης νερού καλής ποιότητας, σε παγκόσμιο επίπεδο, καταναλώνεται στη γεωργία (FAO, 2007), ενώ στην Κρήτη, το ποσοστό φτάνει στο 85% (Περιφέρεια Κρήτης, 2002). Η διαθεσιμότητα νερού καλής ποιότητας είναι περιορισμένη και η κατάσταση αναμένεται να επιδεινωθεί ακόμη περισσότερο στο μέλλον, λόγω της έντασης του

ανταγωνισμού μεταξύ των χρηστών και της προβλεπόμενης κλιματικής αλλαγής (Chartzoulakis and Psarras, 2005). Σύμφωνα με υπολογισμούς, η χρήση σύγχρονων συστημάτων και τεχνικών άρδευσης και η επαναχρησιμοποίηση νερών υποβαθμισμένης ποιότητας μπορούν να μειώσουν τη χρήση του νερού καλής ποιότητας μέχρι και 30%, σε επίπεδο αγρού (Dworak et al., 2007).

Η προσαρμογή στις απαιτήσεις της Οδηγίας 91/271 της ΕΕ σχετικά με την επεξεργασία αστικών αποβλήτων σε μικρές Κοινότητες, αναμένεται να αυξήσει τη διαθεσιμότητα αστικών αποβλήτων σε αγροτικές περιοχές στο μέλλον (Maton et al., 2010). Στα πλαίσια αυτά, δρομολογήθηκαν οι εργασίες του Ευρωπαϊκού Προγράμματος «SAFIR», με στόχο την παραγωγή σύγχρονων και πλήρως ελεγχόμενων συστημάτων επεξεργασίας αστικών αποβλήτων και άρδευσης των καλλιεργειών, τα οποία θα μπορούσαν να αξιοποιηθούν σε επίπεδο μεμονωμένου αγρού ή μικρής Κοινότητας, με στόχο την παραγωγή ασφαλών προϊόντων με μειωμένη κατανάλωση νερού καλής ποιότητας (Jensen et al., 2010; Plauborg et al., 2010).

Οι στόχοι της παρούσας εργασίας, η οποία πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του συγκεκριμένου Προγράμματος, ήταν: α) η αξιολόγηση ενός συστήματος *in situ* επεξεργασίας αστικών αποβλήτων (ποιότητας αντίστοιχης της δευτεροβάθμιας επεξεργασίας, αλλά βεβαρυμένων με βαρέα μέταλλα), β) η αξιολόγηση τεχνικών ελλειμματικής άρδευσης με στόχο τη μειωμένη χρήση νερού στην άρδευση της τομάτας, γ) η διατήρηση της παραγωγής και ποιότητας των καρπών σε υψηλά επίπεδα, δ) η ελαχιστοποίηση των κινδύνων για την υγεία των παραγωγών και καταναλωτών. Οι πειραματικές εργασίες διήρκεσαν 3 καλλιεργητικές περιόδους, ενώ στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του 3ου έτους πειραματισμού, όπου είχε ολοκληρωθεί η εξέλιξη και βελτιστοποίηση των εφαρμοζόμενων χειρισμών.

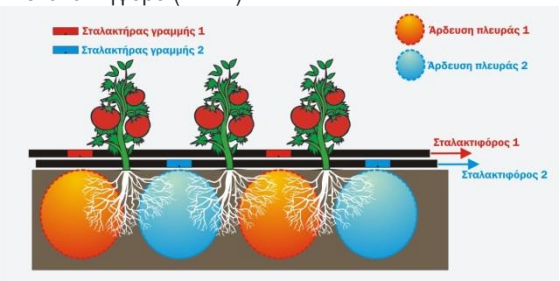
2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1. Φυτικό υλικό και συνθήκες καλλιέργειας

Φυτά τομάτας (υβρίδιο 'Verdoun') φυτεύθηκαν σε αποστάσεις 0,5 x 1m, με συνολικό κύκλο καλλιέργειας 123 ημερών (τέλη Απριλίου έως μέσα Αυγούστου 2008). Η συνολική βροχόπτωση κατά την καλλιεργητική περίοδο ήταν 31 mm, συγκεντρωμένη στα πρώτα στάδια της καλλιέργειας, με αποτέλεσμα την ύπαρξη περιόδου 75 ημερών, όπου οι ανάγκες των φυτών σε νερό καλύπτονταν αποκλειστικά μέσω της άρδευσης.

2.2. Χειρισμοί

Συνολικά εφαρμόσθηκαν 9 χειρισμοί, συνδυάζοντας: α) 3 τεχνικές άρδευσης: πλήρης άρδευση (FI), ελεγχόμενη ελλειμματική άρδευση (RDI) και μερική διαβροχή του ριζικού συστήματος (PRD), β) 2 ποιότητες νερού: νερό από το τοπικό δίκτυο άρδευσης (FW) και αστικά απόβλητα δευτεροβάθμιας επεξεργασίας (WW), και γ) 2 βάθη εφαρμογής: επιφανειακή άρδευση (S) και υπόγεια άρδευση στα 15 cm βάθους (SS). Το RDI εφαρμόσθηκε μόνο με νερό καλής ποιότητας και επιφανειακή άρδευση, ως μέτρο σύγκρισης της αποτελεσματικότητας του PRD σε σχέση με την κλασική ελλειμματική άρδευση. Η εφαρμογή των FI και RDI έγινε με μονές γραμμές άρδευσης και ενσωματωμένους σταλακτήρες (NETAFIM, Ισραήλ) με παροχή 1,6 l/hr, και ισαποχή 0,5 m (1 σταλακτήρας ανά φυτό). Η εφαρμογή του PRD έγινε μέσω ειδικά κατασκευασμένης διπλής γραμμής άρδευσης από την εταιρεία NETAFIM, η οποία έφερε ίδιου τύπου σταλακτήρες, με ισαποχή 1 m σε κάθε σταλακτηφόρο (Εικ. 1).



Εικόνα 1. Σχηματική αναπαράσταση του τρόπου εφαρμογής της μερικής διαβροχής του ριζικού συστήματος, με χρήση διπλής γραμμής άρδευσης.

Οι χειρισμοί ελλειμματικής άρδευσης (RDI και PRD), ξεκίνησαν στο στάδιο της πλήρους ανάπτυξης του πρώτου καρπού στην πρώτη ταξιανθία και εφαρμόσθηκαν σε 3 στάδια: 1) αρχική μείωση στο 85% της υπολογιζόμενης εξατμισοδιαπνοής (ETc) για 15 ημέρες, 2) Κύρια περίοδος εφαρμογής στο 65% ETc, και 3) Μείωση στο 50% ETc, για τις τελευταίες 15 ημέρες της καλλιέργειας. Η συνολική εξοικονόμηση νερού έφτασε το 23%, σε σχέση με την πλήρη άρδευση. Ο υπολογισμός των αναγκών για το FI (100% ETc), έγινε με χρήση συντελεστών καλλιέργειας (kc) που κυμαίνονταν από 0,45-1,10 σύμφωνα με τους Tsanis et al. (1996), ενώ υπήρχε παράλληλη προσαρμογή με βάση μετρήσεις εδαφικής υγρασίας (% v/v) σε βάθη 10-40 cm, με χρήση αισθητήρων PR-2 (Delta-T, M. Βρετανία). Η προσαρμογή (αύξηση ή μείωση της ποσότητας άρδευσης) γινόταν με βάση την απόκλιση που παρουσίαζε το ποσοστό υγρασίας του εδάφους, σε σχέση με την υδατοϊκανότητά του, μετά από την άρδευση.

2.3. Επεξεργασία αποβλήτων *in situ*

Απόβλητα δευτεροβάθμιας επεξεργασίας από τις εγκαταστάσεις της ΔΕΥΑ Χανίων χρησιμοποιήθηκαν για την άρδευση των φυτών. Τα απόβλητα δέχονταν μια επιπλέον επεξεργασία στον αγρό, πριν την εφαρμογή τους. Εξαιτίας της χαμηλής συγκέντρωσης των βαρέων μετάλλων στα τοπικά διαθέσιμα απόβλητα, διαμορφώθηκε ένα σύστημα έγχυσης βαρέων μετάλλων σε αυτά, με σκοπό τον έλεγχο της αποτελεσματικότητας του συστήματος επεξεργασίας σε περιπτώσεις αποβλήτων που ήταν βεβαρυμένα με βαρέα μέταλλα. Ως εκ τούτου, δημιουργήθηκε δεξαμενή που περιείχε πυκνό διάλυμα βαρέων μετάλλων υπό συνεχή ανάδευση, από το οποίο γινόταν τροφοδότηση του νερού άρδευσης με συγκεντρώσεις 20 μg/l As, 5 μg/l Cd, 100 μg/l Cr, 200

μg/l Cu και 100 μg/l Pb, μέσω μηχανικής δοσομετρικής αντλίας. Ακολούθως, υπήρχε σύστημα επεξεργασίας που αποτελούνταν από ένα φίλτρο άμμου, μια μονάδα απομάκρυνσης βαρέων μετάλλων (Battilani et al., 2010) και μια μονάδα υπεριώδους ακτινοβολίας (40 W - δόση UV 400 J.m^{-2}) για μείωση του πληθυσμού των παθογόνων βακτηρίων.

2.4. Μετρήσεις - Αναλύσεις

Συνολικά (integrated) και στιγμιαία δείγματα νερού ελήφθησαν 3 φορές κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου για κάθε στάδιο επεξεργασίας των αποβλήτων, όπως και για το νερό καλής ποιότητας (FW). Στα δείγματα πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις για ανόργανα στοιχεία, περιλαμβανομένων και των βαρέων μετάλλων, με χρήση κυρίως συσκευών ICP (AES και MS) και ακολουθώντας διεθνή και εσωτερικά πρωτόκολλα αναλύσεων του διαπιστευμένου εργαστηρίου του BRGM Service Eau στη Γαλλία. Επίσης, πραγματοποιήθηκαν 10 δειγματοληψίες νερού για εκτίμηση πληθυσμού ολικών κολοβακτηριδίων, *E. coli* και συνολικού αριθμού βακτηρίων (Forslund et al., 2012). Αντίστοιχες αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν σε δείγματα εδάφους και καρπών, με τελευταία δειγματοληψία στο τέλος της καλλιεργητικής περιόδου. Οι αναλύσεις βαρέων μετάλλων στους καρπούς πραγματοποιήθηκαν σε διαπιστευμένο εργαστήριο του SSICA (Stazione Sperimentale Industria Conserve Alimentari) στην Parma της Ιταλίας. Κατά τη διάρκεια της συγκομιδής μετρήθηκαν ο αριθμός και το βάρος των εμπορεύσιμων και μη εμπορεύσιμων καρπών, ενώ πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις για ολικά στερεά (TSS) και οξύτητα (TA).

2.5. Πειραματικός σχεδιασμός - στατιστική επεξεργασία

Χρησιμοποιήθηκαν τρεις επαναλήψεις (plots) για κάθε χειρισμό, σε τυχαιοποιημένο σχέδιο πλήρων ομάδων (completely randomized block design). Η κατανομή των plots στον πειραματικό αγρό εμφανίζεται στην Εικόνα 2. Κάθε επανάληψη περιελάμβανε 100 φυτά σε 5 γραμμές (50 m^2 έκταση κάθε plot), από τις οποίες οι δύο ακραίες δεν χρησιμοποιήθηκαν για δειγματοληψίες και μετρήσεις. Η στατιστική ανάλυση έγινε χρησιμοποιώντας ένα general linear model για αρχική εκτίμηση της σημαντικότητας της επίδρασης κάθε χειρισμού και το LSD-τεστ για τη διαφοροποίηση των μέσων όρων, μέσω του λογισμικού SPSS 16.0 (SPSS Inc., ΗΠΑ).

	Επανάληψη 1		
1	WW	S	FI
2	FW	SS	FI
3	FW	SS	PRD
4	WW	S	PRD
5	FW	S	PRD
6	WW	SS	FI
7	FW	S	RDI
8	FW	S	FI
9	WW	SS	PRD

	Επανάληψη 2		
10	FW	S	RDI
11	WW	S	FI
12	WW	SS	PRD
13	FW	SS	FI
14	FW	S	FI
15	WW	S	PRD
16	FW	SS	PRD
17	WW	SS	FI
18	FW	S	PRD

	Επανάληψη 3		
19	WW	SS	FI
20	WW	S	PRD
21	WW	SS	PRD
22	WW	S	FI
23	FW	S	RDI
24	FW	SS	PRD
25	FW	S	FI
26	FW	S	PRD
27	FW	SS	FI

Εικόνα 2. Κατανομή των 27 plots στον πειραματικό αγρό.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

3.1. Παραγωγή και ποιότητα καρπών

Η παραγωγή εμπορεύσιμων καρπών δεν διέφερε στατιστικώς σημαντικά μεταξύ των διαφορετικών τεχνικών άρδευσης, αν και ήταν 5-7% χαμηλότερη σε απόλυτες τιμές στους χειρισμούς ελλειμματικής άρδευσης, κυρίως λόγω της αύξησης των μη εμπορεύσιμων καρπών μικρού μεγέθους (Πίνακας 1). Η ποιότητα του νερού άρδευσης δεν επηρέασε το ύψος της παραγωγής.

Πίνακας 1. Επίδραση των τεχνικών άρδευσης στη παραγωγή εμπορεύσιμων και μη εμπορεύσιμων καρπών και στην αποτελεσματικότητα χρήσης του νερού

Τεχνική άρδευσης	Εμπορεύσιμη Παραγωγή	Μη εμπορεύσιμη παραγωγή	Αποτελεσματικότητα χρήσης νερού
	tn/στρ.		g/l
Πλήρης	7,56 a*	0,84 b	13,4 b
PRD	7,25 a	0,99 a	16,7 a
RDI	7,10 a	1,06 a	16,3 a

**Μέσοι όροι από 3 επαναλήψεις. Διαχωρισμός μέσων όρων με LSD-τεστ (P<0,05).*

Το κυριότερο πλεονέκτημα της ελλειμματικής άρδευσης είναι η αυξημένη αποτελεσματικότητα χρήσης του νερού, η οποία σε περιοχές με μειωμένη διαθεσιμότητα νερού καλής ποιότητας μπορεί να είναι πιο σημαντική από μια μικρή μείωση της αναμενόμενης παραγωγής. Η εξοικονόμηση νερού στους χειρισμούς ελλειμματικής άρδευσης έφτασε το 23%, ενώ και η αποτελεσματικότητα χρήσης του νερού για την παραγωγή εμπορεύσιμων καρπών ήταν μεγαλύτερη από 20% σε σχέση με την πλήρη άρδευση (Πίνακας 1). Οι χειρισμοί PRD και RDI δεν παρουσίασαν διαφοροποιήσεις ως προς το ύψος της εμπορεύσιμης παραγωγής, γεγονός που είναι σε συμφωνία με τα αποτελέσματα των Savic et al. (2009). Παρόλα αυτά, υπάρχουν αναφορές όπου η χρήση του PRD υπήρξε πιο αποτελεσματική στην παραγωγή καρπών τομάτας, σε σχέση με την εφαρμογή RDI (Ismail et al., 2009; Kirda et al., 2007). Η διαφοροποίηση που υπάρχει μεταξύ των ερευνητικών αποτελεσμάτων στο συγκεκριμένο θέμα, μπορεί να εξηγηθεί από πρόσφατα αποτελέσματα (Wang et al., 2012), όπου η αποτελεσματικότητα του PRD εξαρτάται από το πόσο χαμηλά θα φτάσει η εδαφική υγρασία στην πλευρά του ριζικού συστήματος που δεν αρδεύεται. Αν και αυτό μπορεί εύκολα να ελεγχθεί σε συνθήκες πειραματισμού, πρακτικά είναι κάτι που δεν μπορεί να ελέγξει ο μέσος παραγωγός.

Τα ερευνητικά αποτελέσματα στη διεθνή βιβλιογραφία διίστανται επίσης ως προς το ύψος της παραγωγής που μπορεί να επιτευχθεί σε συνθήκες ελλειμματικής άρδευσης σε σχέση με την πλήρη άρδευση. Οι Savic et al. (2009) αναφέρουν μείωση της παραγωγής περίπου στο 80% του FI, τόσο από το PRD, όσο και από το RDI, ενώ αντίθετα οι Campos et al. (2009) δεν παρατήρησαν σημαντικές διαφορές μεταξύ PRD και FI σε συνθήκες

θερμοκηπίου. Ο γενότυπος έχει αναφερθεί ως πηγή διαφοροποίησης της αντίδρασης στην ελλειμματική άρδευση (Savic et al., 2011), ενώ οι Patane et al. (2011) αναφέρουν ότι ο βαθμός μείωσης της παραγωγής σε συνθήκες ελλειμματικής άρδευσης εξαρτάται από το στάδιο ανάπτυξης του φυτού στο οποίο αυτή θα ξεκινήσει. Στην παρούσα εργασία, η εφαρμογή της ελλειμματικής άρδευσης ξεκίνησε σε μια περίοδο όπου η καρπόδεση και η φάση της έντονης κυτταροδιαίρεσης είχε ολοκληρωθεί για σημαντικό αριθμό καρπών του φυτού. Παράλληλα, η σταδιακή εφαρμογή της ελλειμματικής άρδευσης σε 3 φάσεις φαίνεται να είναι ένας ακόμη σημαντικός παράγοντας, αφού σε προηγούμενες καλλιεργητικές περιόδους στον ίδιο πειραματικό αγρό, η εφαρμογή σταθερά χαμηλών επιπέδων ελλειμματικής άρδευσης καθόλη την περίοδο δεν ήταν εξίσου αποδοτική (Ψαράς κ.α., αδημοσίευτα δεδομένα).

Η εφαρμογή ελλειμματικής άρδευσης έχει αναφερθεί ότι αυξάνει τα ολικά στερεά του καρπού της τομάτας (Patane et al., 2011). Όμως, αυτό δεν ισχύει για όλους τους γενοτύπους (Savic et al., 2011), ενώ σε περιπτώσεις όπου το PRD δεν είχε αρνητική επίδραση στο ύψος της παραγωγής, οι επιδράσεις στα ολικά στερεά και στην οξύτητα ήταν από πολύ μικρές ως μη σημαντικές (Campos et al., 2009). Στην παρούσα εργασία, τα ολικά στερεά και η οξύτητα δεν επηρεάστηκαν από την ποιότητα του νερού που χρησιμοποιήθηκε, την τεχνική άρδευσης και το βάθος άρδευσης (Πίνακας 2).

Πίνακας 2. Επίδραση των διάφορων χειρισμών σε ποιοτικά χαρακτηριστικά του καρπού κατά την περίοδο της μέγιστης παραγωγής.

Χειρισμός άρδευσης	Ολικά στερεά (° Brix)	Οξύτητα (g κιτρικού/100g)
Ποσότητα (NS*)		
Πλήρης	4,57	0,368
PRD	4,61	0,353
RDI	4,50	0,358
Ποιότητα (NS)		
FW	4,57	0,353
WW	4,60	0,358
Βάθος (NS)		
Επιφανειακή	4,56	0,367
Υπόγεια	4,60	0,342

**NS: Μη στατιστικώς σημαντική διαφοροποίηση των χειρισμών (General Linear Model Analysis, P<0,05)*

3.2. Επεξεργασία αποβλήτων

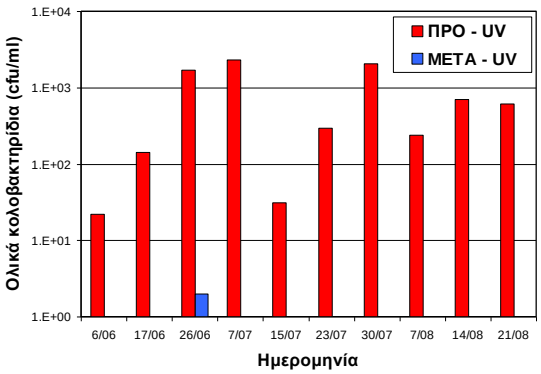
Το σύστημα *in situ* επεξεργασίας των αποβλήτων ήταν αρκετά αποτελεσματικό στο να μειώσει τα επίπεδα των 5 βαρέων μέταλλων που είχαν προστεθεί, σε ποσοστά που κυμαίνονταν από 70-90%. Παρόμοια ποσοστά επιτεύχθηκαν από το σύστημα και σε πειραματικούς σε άλλες χώρες, στα πλαίσια του προγράμματος SAFIR (Battilani et al., 2010). Σε κάθε περίπτωση, οι συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων μετά την επεξεργασία είχαν μειωθεί σε επίπεδα μικρότερα από τα επιτρεπόμενα για επαναχρησιμοποίηση των αποβλήτων για άρδευση, με βάση την τρέχουσα Ελληνική νομοθεσία (ΚΥΑ 145116, ΦΕΚ 354/8-3-2011). Ως αποτέλεσμα, δεν παρατηρήθηκε διαφοροποίηση στη συγκέντρωση των βαρέων μετάλλων στο έδαφος μεταξύ του μάρτυρα και του χειρισμού άρδευσης με επεξεργασμένα απόβλητα (Πίνακας 3), έπειτα από 2 περιόδους λειτουργίας του συστήματος επεξεργασίας. Αντίστοιχα, δεν παρατηρήθηκε διαφοροποίηση και στη συγκέντρωση βαρέων μετάλλων στους καρπούς (Sandei et al., αδημοσίευτα δεδομένα).

Πίνακας 3. Επίδραση της ποιότητας του νερού άρδευσης στη συγκέντρωση βαρέων μετάλλων στο έδαφος..

Στοιχείο	Μάρτυρας (FW)	Απόβλητα (WW)
As (mg/kg)	12,8 a*	15,8 a
Cd (mg/kg)	0,23 a	0,27 a
Cr (mg/kg)	51,0 a	61,3 a
Cu (mg/kg)	21,5 a	27,3 a
Pb (mg/kg)	35,0 a	35,5 a

**Μέσοι όροι στην ίδια γραμμή ακολουθούμενοι από το ίδιο γράμμα, δεν διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά (LSD-τεστ, P<0,05)*

Η χρήση της λάμπας υπεριώδους ήταν εξίσου αποτελεσματική στη μείωση των παθογόνων βακτηρίων στα απόβλητα, αφού μόλις σε 1 από τα δέκα δείγματα που ελήφθησαν στη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου ανιχνεύθηκε πληθυσμός κολοβακτηριδίων (Διάγραμμα 1), ενώ σε κανένα δείγμα δεν ανιχνεύθηκαν πληθυσμοί *E. coli*. Επομένως, τα επεξεργασμένα απόβλητα πληρούσαν τα σχετικά όρια της τρέχουσας Ελληνικής νομοθεσίας για απεριόριστη χρήση για άρδευση των καλλιεργειών. Όσον αφορά στα δείγματα καρπών τομάτας, σε κανένα από αυτά δεν ανιχνεύθηκαν πληθυσμοί *E. coli*. Παρόλα αυτά, βρέθηκαν 3 θετικά δείγματα *E. coli* σε έδαφος που αρδευόταν με απόβλητα και 3 σε έδαφος που αρδευόταν με νερό καλής ποιότητας. Η απουσία *E. coli* στα απόβλητα που χρησιμοποιούνταν για άρδευση και το γεγονός ότι δεν υπήρξε διαφοροποίηση στις αναλύσεις εδάφους μεταξύ των χειρισμών FW και WW, καταδεικνύει ότι η ανίχνευση *E. coli* στο έδαφος οφείλεται σε εξωγενείς παράγοντες και πιθανότατα στην πανίδα του πειραματικού αγρού. Το συμπέρασμα αυτό επιβεβαιώνεται και από επιπλέον αναλύσεις με την τεχνική Pulse Field Gel Electrophoresis που πραγματοποιήθηκαν σε απομονώσεις *E. coli* από τα δείγματα αποβλήτων και εδάφους, όπου δεν βρέθηκε γονιδιακή συσχέτιση μεταξύ των δύο πληθυσμών (Forslund et al., 2012).



Διάγραμμα 1. Επίπεδα πληθυσμών ολικών κολοβακτηριδίων σε δείγματα αποβλήτων πριν και μετά την χρήση υπεριώδους ακτινοβολίας (UV) στον αγρό.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Συμπερασματικά, η εφαρμογή ελλειμματικής άρδευσης στην υπαίθρια τομάτα, τόσο ως PRD όσο και ως RDI, μπορεί να αυξήσει σημαντικά την αποτελεσματικότητα χρήσης του νερού άρδευσης, δίχως αρνητικές συνέπειες στο ύψος της παραγωγής ή την ποιότητα των καρπών. Παρόλα αυτά, η εφαρμογή του PRD έχει μεγαλύτερο βαθμό δυσκολίας στην εφαρμογή από τον μέσο παραγωγό, δίχως να προσφέρει κάποιο ουσιαστικό πλεονέκτημα.

Η χρήση επεξεργασμένων αστικών αποβλήτων για άρδευση λαχανικών μπορεί να μειώσει σημαντικά τη χρήση νερού καλής ποιότητας, σε περιοχές όπου η διαθεσιμότητά του είναι περιορισμένη. Το χαμηλού κόστους σύστημα *in situ* επεξεργασίας αποβλήτων που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία μπορεί να αποτελέσει λύση σε περιπτώσεις όπου η ποιότητα των διαθέσιμων επεξεργασμένων αποβλήτων είναι οριακά πάνω από τα επιτρεπόμενα όρια για απεριόριστη άρδευση των καλλιεργειών.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του Ευρωπαϊκού προγράμματος SAFIR (FP6: FOOD-CT-2005-023168). Οι συγγραφείς ευχαριστούν τους Γεώργιο Κατζουράκη, Νεκταρία Διγαλάκη και Αθηνά Γιαννακάκη για τη βοήθειά τους στις εργασίες στον αγρό και το εργαστήριο.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Battilani, A., Steiner, M., Andersen ,M., Back, S.N., Lorenzen, J., Schweitzer, A., Dalsgaard, A., Forslund, A., Gola, S., Klopmann, W., Plauborgh, F. and Andersen, M.N. 2010. Decentralised water and wastewater treatment technologies to produce functional water for irrigation. Agric. Water Manage. 98:385-402.

Campos, H., Trejo, C., Peña-Valdiva, C.B., Ramirez-Ayala, C. and Sanchez-Garcia, P. 2009. Effect of partial rootzone drying on growth, gas exchange, and yield of tomato (*Solanum lycopersicum* L.). Sci. Hort. 120: 493-499.

Chartzoulakis, K. and Psarras, G. 2005. Global change effects on crop photosynthesis and production in Mediterranean: the case of Crete, Greece. Agric. Ecosyst. Environ. 106:147-157.

Dworak, T., Berglund, M., Laaser, C., Strosser, P., Roussard, J., Grandmougin, B., Kossida, M., Kyriazopoulou, I., Berbel, J., Kolberg, S., Rodriguez-Diaz, J.A. and Montesinos, P., 2007. EU water saving potential (Part 1-Report), ENV.D.2/ETU/2007/001r.

FAO. 2007. FAOSTAT data, FAO statistical databases FAOSTAT., www.fao.org.

Forslund, A., Ensink, J.H.J, Markussen, B., Battilani, A., Psarras, G., Gola, S., Sandei, L., Fletcher, T. and Dalsgaard, A. 2012. Escherichia coli contamination and health aspects of soil and tomatoes (*Solanum lycopersicum* L.) subsurface drip irrigated with on-site treated domestic wastewater. Water Res. 46: 5917-5934.

Ismail, M.R. and Phizackerley S. 2009. Effects of partial rootzone and controlled deficit irrigation on growth, yield and peroxidase activity of tomatoes (*Lycopersicon esculentum*, Mill.). Intern. J. Agric. Res. 4:46-52.

Jensen, C.R., Battilani, A., Plauborg, F., Psarras, G., Chartzoulakis, K., Janowiak, F., Stikic, R., Jovanovic, Z., Li, G., Qi, X., Liu, F., Jacobsen, S.E. and Andersen, M.N. 2010. Deficit irrigation based on drought tolerance and root signalling in potatoes and tomatoes. Agric. Water Manage. 98:403-413.

Kirda, C., Topcu, S., Cetin, M., Dasgan, H.Y., Kaman, H., Topaloglu, F., Derici, M.R. and Ekici, B. 2007. Prospects of partial root zone irrigation for increasing irrigation water use efficiency of major crops in the Mediterranean region. Ann. Appl. Biol. 150:281-291.

Maton, L., Psarras, G., Kasapakis, G., Lorenzen, J.R., Andersen, M., Boesend, M., Bak, S.N., Chartzoulakis, K., Pedersen, S.M. and Kloppmann, W. 2010. Assessing the net benefits of using wastewater treated with a membrane bioreactor for irrigating vegetables in Crete. Agric. Water Manage. 98:458-464.

Patane, C., Tringali S. and Sortino, O. 2011. Effects of deficit irrigation on biomass, yield, water productivity and fruit quality of processing tomato under semi-arid Mediterranean climate conditions. Sci. Hort. 129:590-596.

Plauborg, F., Andersen, M.N., Liu, F., Ensink, J. and Ragab R. 2010. Safe and high quality food production using low quality waters and improved irrigation systems and management: SAFIR. Agric. Water Manage. 98:377-384.

Περιφέρεια Κρήτης. 2002. Ορθολογική Διαχείριση των Υδατικών Πόρων της Κρήτης. Ενημερωτικό Φυλλάδιο, pp.24.

Savic, S., Liu, F., Stikic, R., Jacobsen, S.E., Jensen, C.R. and Jovanovic Z. 2009. Comparative effects of partial rootzone drying and deficit irrigation on growth and physiology of tomato plants. Arch. Biol. Sci. 61:801-810.

Savic, S., Stikic, R., Zaric, V., Vucelic-Radovic, B., Jovanovic, Z., Marjanovic, M., Djordjevic, S. and Petkovic, D. 2011. Deficit irrigation technique for reducing water use of tomato under polytunnel conditions. J. Central Europ. Agric. 12:597-607.

Tsanis, I.K., Londra, P.A. and Angelakis, A.N., 1996. Assessment of water needs for irrigation in Greece. Final Report of EU-APAS RENA-CT 94-0038 project.

Wang, Y., Liu, F. and Jensen, C.R. 2012. Comparative effects of deficit irrigation and alternate partial root-zone irrigation on xylem pH, ABA and ionic concentrations in tomatoes. J. Exp. Bot. 63:1907-1917.

ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΣΥΣΣΩΡΕΥΣΗΣ Ca ΣΕ ΚΛΕΙΣΤΟ ΥΔΡΟΠΟΝΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΕ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΠΙΠΕΡΙΑΣ

Ανδρέας Ροπόκης[1,2], Νικόλαος Κατσούλας[2], Κωνσταντίνος Κίττας[2], Αναστάσιος Κότσιρας[3], Κωνσταντίνα Λαγού[1], Δημήτριος Σάββας[1]

[1]Εργαστήριο Κηπευτικών Καλλιεργειών, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Ιερά Οδός 75, 11855 Αθήνα
[2]Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών & Ελέγχου Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, 38446, Βόλος
[3]Τμήμα Φυτικής Παραγωγής της Σχολής Τεχνολογίας Γεωπονίας, ΤΕΙ *Καλαμάτας,* Αντικάλαμος Μεσσηνίας,

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα πειραματική εργασία, εφαρμόσθηκαν 4 διαφορετικές συγκεντρώσεις Ca^{2+} στο θρεπτικό διάλυμα συμπλήρωσης (1.5, 3.0, 4.5 και 6.0 mM), με σκοπό την ανάπτυξη ενός μαθηματικού μοντέλου ικανού να προβλέπει τη συσσώρευση του Ca^{2+} στο περιβάλλον των ριζών, ως συνάρτηση της συγκέντρωσής του στο διάλυμα συμπλήρωσης. Ο προσδιορισμός των συγκεντρώσεων απορρόφησης του Ca^{2+} πραγματοποιήθηκε σε εννέα διαδοχικά χρονικά διαστήματα μέσω μέτρησης της απομάκρυνσης νερού και θρεπτικών στοιχείων από το ανακυκλούμενο θρεπτικό διάλυμα. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η χαμηλότερη συγκέντρωση Ca^{2+} στο θρεπτικό διάλυμα συμπλήρωσης, η οποία οδήγησε σε μία συγκέντρωση απορρόφησης Ca^{2+} ίση με 1.8 mM, έδωσε την μεγαλύτερη παραγωγή λόγω ελαχιστοποίησης της συσσώρευσης Ca^{2+} στο ανακυκλούμενο θρεπτικό διάλυμα.

SIMULATION OF ACCUMULATION Ca IN CLOSED HYDROPONIC SYSTEM IN PEPPER CROP

Andreas Ropokis[1,2], Nicholas Katsoulas[2], Constantine Kittas[2], Anastasios Kotsiras[3], Konstantina Lagou[1] Dimitrios Savvas[1]

[1]Department of Vegetable Crops, Agricultural University of Athens, Iera Odos 75, 11855 Athens
[2]Laboratory of Agricultural Structures & Environmental Control, University of Thessaly, Fytokou Str., Volos
[3]Department of Crop Production of Agricultural Technology, T.E.I. of Kalamata, 24100, Kalamata

In most cases, nutrient/water uptake ratios from plants grown in soilless culture, known in the literature as uptake concentrations, have been measured under North-European conditions. However, the uptake concentrations in Mediterranean greenhouses may be different that those found in northern Europe, due to different climatic conditions. Therefore, the experimental determination of uptake concentrations is necessary to establish nutrient solutions for closed hydroponic systems operating under Mediterranean climatic conditions. The purpose of this research was to develop a mathematical model aimed at predicting the accumulation of Ca^{2+} in the recirculating nutrient solution and the Ca^{2+} uptake concentration in pepper crops grown in closed hydroponic systems under Mediterranean climatic conditions as a relationship of the Ca^{2+} concentrations in the supplied nutrient solution. Four different Ca^{2+} concentrations (1.5, 3.0, 4.5 and 6.0 mM) in the supplied nutrient solution were applied. The results showed that in a closed hydroponic cultivation of sweet pepper, the lowest Ca^{2+} supply level, which imposed a mean uptake concentration of 1.8 mM, resulted in the highest yield due to minimal Ca^{2+} accumulation in the recirculating nutrient solution.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

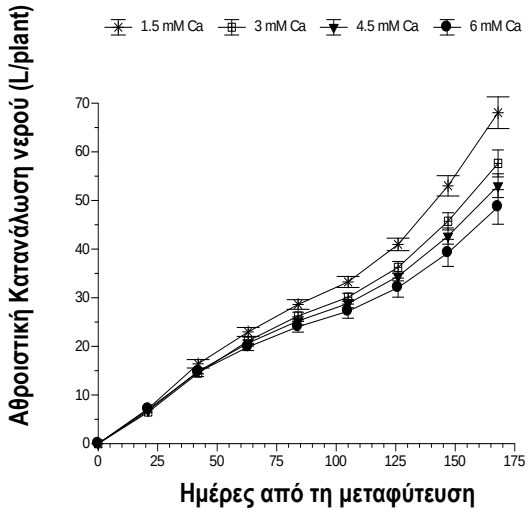
Αναλογίες απορρόφησης των θρεπτικών στοιχείων ως προς το νερό, γνωστές στην σχετική διεθνή βιβλιογραφία ως συγκεντρώσεις απορρόφησης (Adams, 2002), έχουν προσδιοριστεί κυρίως σε θερμοκήπια της Βόρειας Ευρώπης. Ωστόσο οι συγκεντρώσεις απορρόφησης σε θερμοκήπια Μεσογειακών περιοχών δεν ταυτίζονται με αυτές της Βόρειας Ευρώπης, λόγω διαφορετικών κλιματικών συνθηκών. Συνεπώς, ο πειραματικός προσδιορισμός των συγκεντρώσεων απορρόφησης είναι αναγκαίος για να μπορεί να καταστρωθεί ένα θρεπτικό διάλυμα με κατάλληλη σύσταση για κλειστά υδροπονικά συστήματα σε μεσογειακά θερμοκήπια (Savvas, 2002). Ο σκοπός της παρούσας ερευνητικής εργασίας είναι να μελετηθούν οι σχέσεις μεταξύ του ρυθμού συσσώρευσης καθώς και της συγκέντρωσης απορρόφησης του Ca^{2+} σε μία κλειστή υδροπονική καλλιέργεια πιπεριάς και της συγκέντρωσης του Ca^{2+} στο θρεπτικό διάλυμα συμπλήρωσης.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

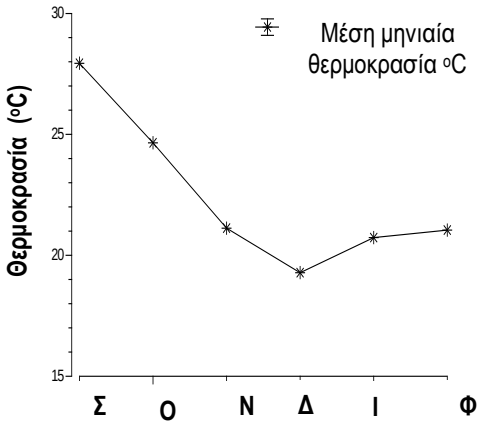
2.1. Το θερμοκήπιο

Το πείραμα πραγματοποιήθηκε σε θάλαμο υαλόφρακτου θερμοκηπίου του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών (γεωγραφικό πλάτος 37ο 58΄ 55΄΄, γεωγραφικό μήκος 23ο 32΄ 14΄΄, υψόμετρο 30 m) . Στο θάλαμο υπήρχε πειραματική εγκατάσταση N.F.T. (Nutrient Film Technique) που περιλάμβανε 20 αυτοτελή κλειστού τύπου υδροπονικά συστήματα (πειραματικές μονάδες). Κάθε αυτοτελές υδροπονικό σύστημα συνίστατο από ένα κανάλι, ένα δοχείο παροχής θρεπτικού διαλύματος (ΘΔ), το οποίο ταυτόχρονα λειτουργούσε και ως κανάλι συλλογής του ΘΔ που επέστρεφε για να ανακυκλωθεί, καθώς και ένα δοχείο αναπλήρωσης του ΘΔ που απορροφούσαν τα φυτά. Το κάθε κανάλι είχε μήκος 3 μέτρα (m), πλάτος 0,03 m και βάθος 0,015 m και ήταν επενδυμένο εσωτερικά με ασπρόμαυρο πλαστικό φύλλο πολυαιθυλενίου. Εντός της πλαστικής επένδυσης κάθε καναλιού μεταφυτεύθηκαν 9 φυτά πιπεριάς σε πυκνότητα που

αντιστοιχούσε σε 2,5 φυτά/m^2 τα οποία αρδεύονταν συνεχώς μέσω μίας λεπτής στοιβάδας θρεπτικού διαλύματος. Η πρόσληψη θρεπτικών στοιχείων και νερού αντισταθμιζόταν με αυτόματη είσοδο ΘΔ από το δοχείο αναπλήρωσης μέσω ενός πλωτήρα (φλοτέρ) που διατηρούσε σταθερή την στάθμη του ΘΔ στο δοχείο παροχής και συλλογής των απορροών. Η σύσταση του ΘΔ συμπλήρωσης βασιζόταν στις συγκεντρώσεις απορρόφησης που δίνονται από τον Σάββα (2012) για καλλιέργειες πιπεριάς σε κλειστά υδροπονικά συστήματα υπό συνθήκες μεσογειακού κλίματος. Το ΘΔ που καταναλωνόταν από τα φυτά καταγράφονταν καθημερινά και συμπληρωνόταν στο δοχείο αναπλήρωσης (Σχ. 1).



Σχ. 1. Η εξέλιξη της αθροιστικής κατανάλωσης νερού (L/plant) συναρτήσει του χρόνου (σε ημέρες από τη μεταφύτευση) για 4 διαφορετικά επίπεδα συγκέντρωσης Ca^{2+} στο νερό άρδευσης, σε καλλιέργεια πιπεριάς σε κλειστό υδροπονικό σύστημα. Οι κάθετες μπάρες δείχνουν τα ± τυπικά σφάλματα των μέσων.

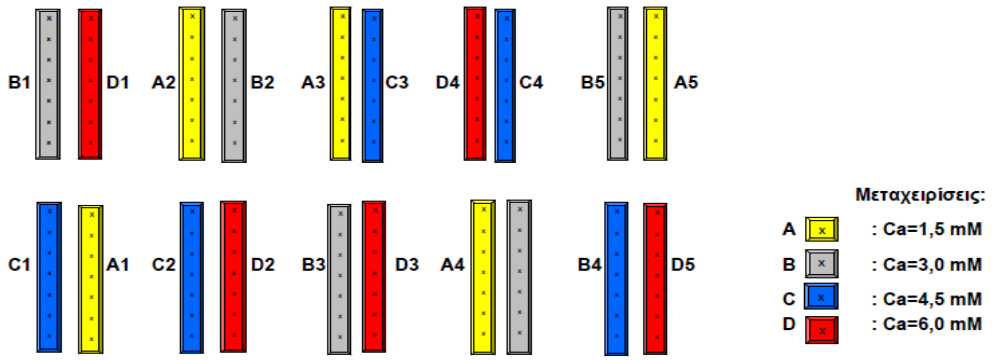


Σχ. 2. Η εξέλιξη της μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας T (oC) εντός του θαλάμου του θερμοκηπίου με καλλιέργεια πιπεριάς σε κλειστό υδροπονικό σύστημα, συναρτήσει του χρόνου (σε μήνες από τη μεταφύτευση).

Η θερμοκρασία εντός του θαλάμου του θερμοκηπίου καταγράφονταν. Το Σχ. 2 δείχνει την εξέλιξη της μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας T (oC) εντός του θαλάμου του θερμοκηπίου συναρτήσει του χρόνου. Το pH του ανακυκλούμενου θρεπτικού διαλύματος ρυθμιζόταν καθημερινά στο 6.20 με την προσθήκη κατάλληλων ποσοτήτων 1 N διαλύματος HNO_3, κατόπιν μέτρησής με ένα φορητό όργανο μέτρησης του pH (PH 25 Crison Instruments SA, Ισπανία).

2.2. Η καλλιέργεια

Φυτά γλυκιάς πιπεριάς τύπου «κέρατο» (*Capsicum annuum, cv* Sammy F1) του σποροπαραγωγικού οίκου Rijk Zwann, σπάρθηκαν στις 03/08/2012. Τα σπορόφυτα που προέκυψαν μεταφυτεύθηκαν στο στάδιο των τεσσάρων πραγματικών φύλλων στα 20 κλειστά υδροπονικά συστήματα τύπου NFT στις 11/09/12. Ακολούθως ξεκίνησε η ανακύκλωση του διαλύματος απορροής, με το πείραμα να διαρκεί μέχρι τις 25/02/2013. Σε κάθε φυτό αφέθηκαν δύο βλαστοί οι οποίοι υποστυλώθηκαν με κατακόρυφο σπάγκο, ενώ οι υπόλοιποι πλάγιοι βλαστοί κλαδευόταν στο πρώτο φύλλο. Κατά τη διάρκεια της καλλιέργειας εφαρμόστηκε δόνηση των ανθέων με την βοήθεια φορητού ηλεκτρικού δονητή ώστε να υποβοηθηθεί η φυσική καρπόδεση. Στο πείραμα εφαρμόστηκαν 4 πειραματικές επεμβάσεις, οι οποίες αντιστοιχούσαν στις 4 διαφορετικές συγκεντρώσεις Ca^{2+} στο νερό άρδευσης (1.5, 3.0, 4.5 και 6.0 mM Ca^{2+}). Για κάθε μεταχείριση υπήρχαν 5 επαναλήψεις, κατανεμημένες στο χώρο του θερμοκηπίου με βάση το σχέδιο των τυχαιοποιημένων πλήρων ομάδων (Σχ. 3).



Σχ. 3. Διάταξη των τεσσάρων μεταχειρίσεων εντός του θαλάμου του γυάλινου θερμοκηπίου.

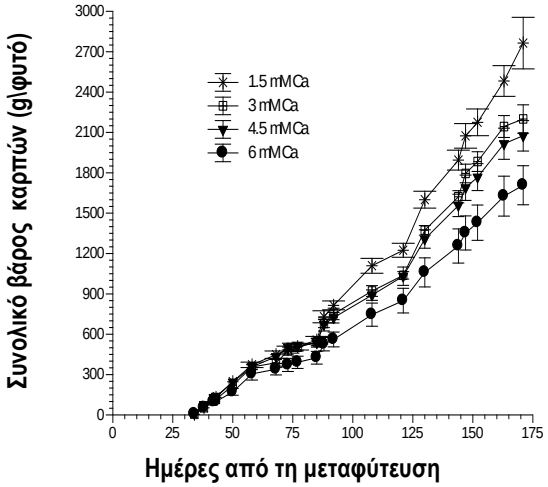
2.3. Μετρήσεις

Δείγματα από το ανακυκλούμενο ΘΔ λαμβάνονταν κάθε τρείς εβδομάδες από όλες τις πειραματικές μονάδες, ξεκινώντας από την 11η Σεπτεμβρίου. Τα δείγματα αυτά χρησιμοποιήθηκαν για τον προσδιορισμό των συγκεντρώσεων Ca2+ με την βοήθεια ενός φασματοφωτομέτρου ατομικής απορρόφησης (Perkin Elmer 1100B). Η μέση συγκέντρωση απορρόφησης του *x* θρεπτικού στοιχείου (C_{xu} σε mmol L^{-1} ή μmol L^{-1}, όπου × = Ca^{2+}) προσδιορίστηκε για 8 διαδοχικά χρονικά διαστήματα χρησιμοποιώντας τον ακόλουθο τύπο:

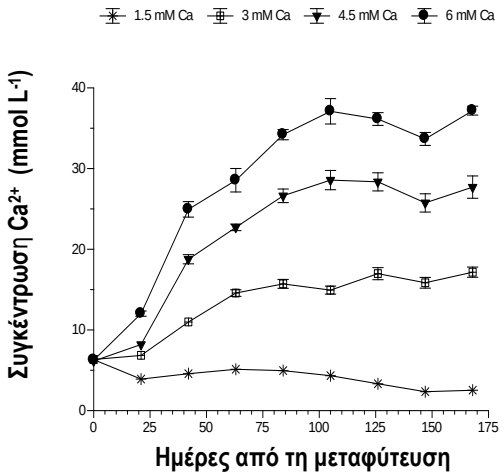
$$C_{xu} = \frac{V_r(C_{xbi} - C_{xei}) + V_{ui}C_{xa}}{V_{ui}} \qquad (1)$$

όπου V_r είναι ο συνολικός όγκος του ανακυκλούμενου θρεπτικού διαλύματος σε κάθε πειραματική μονάδα, V_{ui} είναι ο συνολικός όγκος του θρεπτικού διαλύματος που απορροφήθηκε από τα φυτά κάθε πειραματικής μονάδας κατά τη διάρκεια του *i* διαδοχικού μεσοδιαστήματος (*i* = 1...8), C_{xbi} και C_{xei} είναι οι συγκεντρώσεις του × θρεπτικού στοιχείου (× = Ca^{2+} στο παρόν πείραμα) στο ανακυκλούμενο θρεπτικό διάλυμα κατά την πρώτη και την τελευταία ημέρα των *i* διαδοχικών μεσοδιαστημάτων και C_{xa} είναι η συγκέντρωση του × θρεπτικού στοιχείου στο θρεπτικό διάλυμα που χρησιμοποιήθηκε για τη συμπλήρωση των θρεπτικών στοιχείων και του νερού σε κάθε μεταχείριση (Tzerakis et al, 2013).

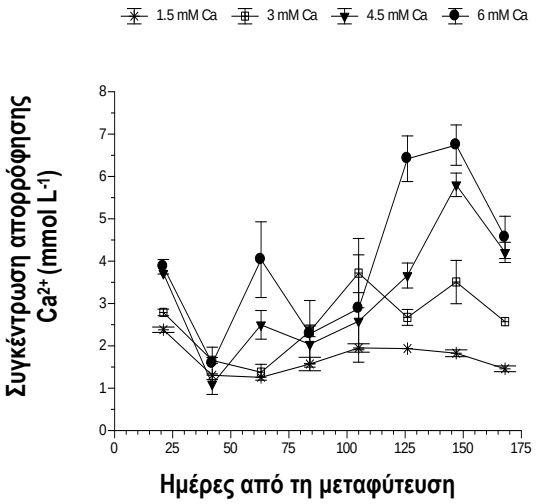
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ



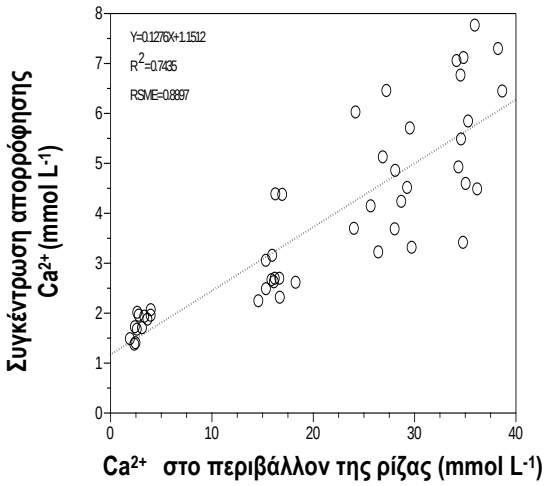
Σχ. 4. Συνολικό βάρος καρπών ανά φυτό πιπεριάς καλλιεργούμενο εντός κλειστού υδροπονικού συστήματος με 4 διαφορετικά επίπεδα συγκέντρωσης Ca^{2+} στο νερό άρδευσης, συναρτήσει του χρόνου (σε ημέρες από τη μεταφύτευση). Οι κάθετες μπάρες δείχνουν τα ± τυπικά σφάλματα των μέσων.



Σχ. 5. Συσσώρευση Ca^{2+} (mmol L^{-1}) στο διάλυμα απορροής συναρτήσει του χρόνου (σε ημέρες από τη μεταφύτευση) για 4 διαφορετικά επίπεδα συγκέντρωσης Ca^{2+} στο νερό άρδευσης, σε καλλιέργεια πιπεριάς σε κλειστό υδροπονικό σύστημα. Οι κάθετες μπάρες δείχνουν τα ± τυπικά σφάλματα των μέσων.



Σχ. 6. Διακυμάνσεις της συγκέντρωσης απορρόφησης Ca^{2+} (mmol L^{-1}) στο διάλυμα απορροής συναρτήσει του χρόνου (σε ημέρες) για 4 διαφορετικά επίπεδα συγκέντρωσης Ca^{2+} στο νερό άρδευσης, σε καλλιέργεια πιπεριάς σε κλειστό υδροπονικό σύστημα. Οι κάθετες μπάρες δείχνουν τα ± τυπικά σφάλματα των μέσων.



Σχ. 7. Σχέση μεταξύ των συγκεντρώσεων του Ca^{2+} στο διάλυμα απορροής και των αναλογιών πρόσληψης ιόντων Ca^{2+}/νερού (συγκεντρώσεις απορρόφησης) σε καλλιέργεια πιπεριάς σε κλειστό υδροπονικό σύστημα. Τα σύμβολα υποδεικνύουν μετρούμενες τιμές ενώ η διακεκομμένη γραμμή απεικονίζει την καμπύλη παλινδρόμησης υποθέτοντας μια γραμμική συσχέτιση.

Σύμφωνα με το Σχ. 1, οι διαφορετικές συγκεντρώσεις Ca^{2+} στο ΘΔ οδήγησαν σε σημαντικές διαφορές στην κατανάλωση νερού από τα φυτά. Ειδικότερα, όσο υψηλότερη ήταν η συγκέντρωση Ca^{2+} στο χορηγούμενο ΘΔ τόσο χαμηλότερη ήταν η κατανάλωση νερού.

Από τα αποτελέσματα των μετρήσεων επίσης φαίνεται ότι στη μεταχείριση 1.5 mM Ca^{2+} το συνολικό βάρος των καρπών ανά φυτό πιπεριάς ήταν από την 110η ημέρα μετά την μεταφύτευση και μέχρι το τέλος του πειράματος στατιστικά μεγαλύτερο από τις άλλες μεταχειρίσεις (3.0, 4.5 και 6.0 mM) και ξεπέρασε τα 2,7 kg στο τέλος της καλλιέργειας (Σχ. 4). Αντίθετα, στις μεταχειρίσεις 3.0 και 4.5 mM Ca^{2+}, το συνολικό βάρος καρπών ανά φυτό πιπεριάς στο τέλος της καλλιέργειας δεν διέφερε στατιστικά και κυμάνθηκε μεταξύ 2,1 και 2,2 kg αντίστοιχα. Τέλος, η μικρότερη συνολική παραγωγή καρπών ανά φυτό (1,7 kg) συγκομίσθηκε από την μεταχείριση με το υψηλότερο επίπεδο Ca^{2+} στο νερό άρδευσης (6.0 mM) με εμφάνιση στατιστικά σημαντικής διαφοράς σε σύγκριση με τις μεταχειρίσεις 3.0 και 4.5 mM Ca^{2+} από την 110η ημέρα.

Ο ρυθμός της συσσώρευσης του Ca^{2+} (mmol L^{-1}) στο περιβάλλον των ριζών για τις μεταχειρίσεις 3.0, 4.5 και 6.0 mM στα πρώτα στάδια της καλλιέργειας ήταν αργός, αλλά στη συνέχεια αυξήθηκε προοδευτικά έως την 126η ημέρα από την έναρξη της ανακύκλωσης. Μετά από αυτό το χρονικό ορόσημο, η περαιτέρω συσσώρευση Ca^{2+} πρακτικά άρχισε να μηδενίζεται (Σχ. 5), προφανώς επειδή από αυτό το χρονικό σημείο και μετά η αναλογία απορρόφησης Ca^{2+}/νερό προσέγγισε την αντίστοιχη αναλογία εισόδου τους (συγκέντρωση Ca^{2+} στο διάλυμα συμπλήρωσης της αντίστοιχης μεταχείρισης). Για τη μεταχείριση με το μικρότερο επίπεδο Ca^{2+} (1.5 mM) ο ρυθμός της συσσώρευσης του Ca^{2+} στο περιβάλλον των ριζών ήταν στην αρχή αρνητικός, κάτι που εξηγείται από το γεγονός ότι στη μεταχείριση αυτή η συγκέντρωση Ca^{2+} του αρχικού ΘΔ είναι μεγαλύτερη από τη συγκέντρωση Ca^{2+} στο ΘΔ συμπλήρωσης, ενώ μετά από την 126η ημέρα από την έναρξη της ανακύκλωσης δείχνει και αυτή να σταθεροποιείτε. Αυτό υποδηλώνει ότι συσσώρευση Ca^{2+} στο περιβάλλον των ριζών από εκείνη την ημέρα και μετά πρακτικά μηδενίζεται.

Στο Σχ. 6, φαίνεται η εξέλιξη της συγκέντρωσης απορρόφησης Ca^{2+} (mmol L^{-1}) στο διάλυμα απορροής συναρτήσει του χρόνου (σε ημέρες) για 4 διαφορετικά επίπεδα συγκέντρωσης Ca^{2+} στο νερό άρδευσης. Η σχέση μεταξύ της αναλογίας απορρόφησης Ca^{2+}/νερού (*Y*) και της συγκέντρωσης των κατιόντων Ca^{2+} στο περιβάλλον της ρίζας (*X*) παρουσιάζεται στο Σχ. 7 και δίνεται από την εξίσωση:

$$Y = 0.1276X + 1.1512 \ (R^2 = 0.7435) \qquad (2)$$

Η παραπάνω εξίσωση υπολογίστηκε με γραμμική ανάλυση της παλινδρόμησης χρησιμοποιώντας ως ζεύγη τιμών τις συγκεντρώσεις Ca^{2+} που μετρήθηκαν στο διάλυμα απορροής στις τρεις τελευταίες δειγματοληψίες και τις αντίστοιχες συγκεντρώσεις Ca^{2+} στο νερό άρδευσης. Δοκιμάστηκαν και άλλες εξισώσεις ως πρότυπα (π.χ. $Y=ax^b$) αλλά δεν έδωσαν καλύτερες προβλέψεις.

4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Μέχρι σήμερα πρότυπες συστάσεις για επίπεδα Ca σε (ΘΔ) που χρησιμοποιούνται σε ανοικτές και κλειστές υδροπονικές καλλιέργειες πιπεριάς για να αντισταθμίσουν την απορρόφηση τους από τα φυτά, βασίζονται κυρίως στην έρευνα που διεξάγεται στην Ολλανδία (de Kreij et al., 1999, Sonneveld, 2009). Ωστόσο, δεδομένα που να δείχνουν τις αναλογίες απορρόφησης μεταξύ των μαζών των θρεπτικών στοιχείων και του όγκου του νερού σε κλειστές υδροπονικές καλλιέργειες πιπεριάς που αναπτύσσονται σε συνθήκες Μεσογειακού κλίματος δεν είναι διαθέσιμα στη διεθνή επιστημονική βιβλιογραφία. Επιπρόσθετα, ο ρυθμός απορρόφησης των θρεπτικών στοιχείων και του νερού από τα φυτά δεν είναι σταθερός αλλά μεταβάλλεται ανάλογα κυρίως με το είδος και το στάδιο ανάπτυξης του φυτού και τις κλιματικές συνθήκες που επικρατούν σε ένα δεδομένο χρονικό διάστημα (Adams and Massey, 1984, van Goor et al., 1988, Savvas and Lenz, 1995, Sonneveld, 2002, κ.λ.π.). Τα παραπάνω αποτελέσματα δείχνουν ότι η μεγαλύτερη συνολική παραγωγή καρπών σε κλειστές υδροπονικές καλλιέργειες πιπεριάς επιτυγχάνεται όταν η συγκέντρωση Ca^{2+} στο θρεπτικό διάλυμα συμπλήρωσης είναι η μικρότερη (1.5 mM) από τις τέσσερις συγκεντρώσεις που δοκιμάσθηκαν στο παρόν πείραμα. Το γεγονός ότι σε αυτή την μεταχείριση παρατηρήθηκε η υψηλότερη κατανάλωση νερού υποδηλώνει έμμεσα ότι τα φυτά αυτής της μεταχείρισης είχαν πιο εκτεταμένη φυλλική επιφάνεια και συνεπώς καλύτερη βλαστική ανάπτυξη. Η μείωση της παραγωγής καρπών στις μεταχειρίσεις με συγκέντρωση Ca^{2+} ίση με 3, 4,5 ή 6 mM σε σύγκριση με 1,5 mM, αποδίδεται στην συσσώρευση Ca^{2+} που προκάλεσαν αυτές και συνεπώς σε φαινόμενα αλατούχου καταπόνησης. Τέλος επισημαίνεται ότι, όπως φαίνεται από την τιμή του συντελεστή προσδιορισμού (R^2 = 0.7435) στην εξίσωση (2), η γραμμική συσχέτιση που προέκυψε από την παρούσα εργασία προσομοιώνει ικανοποιητικά την συγκέντρωση απορρόφησης του Ca^{2+} ως συνάρτηση της συγκέντρωσης Ca^{2+} στο περιβάλλον της ρίζας, όταν η τελευταία κυμαίνεται από 1.5 έως 38 mmol L^{-1}.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα εργασία, βαθμονομήθηκε ένα εμπειρικό μοντέλο σε μια φθινοπωρινή-χειμερινή καλλιέργεια γλυκιάς πιπεριάς υπό κάλυψη, το οποίο προσομοιώνει τη συγκέντρωση απορρόφησης του Ca^{2+} (βάρος του θρεπτικού ιόντος ανά λίτρο νερού που απορροφάται) σε συνάρτηση με την συγκέντρωση των κατιόντων Ca^{2+} στο διάλυμα απορροής. Το παραπάνω μοντέλο, αφού ελεγχθεί ως προς την αξιοπιστία του και σε μια δεύτερη καλλιέργεια, ώστε η επαλήθευσή του να είναι ανεξάρτητη από την βαθμονόμησή του, μπορεί μελλοντικά να χρησιμοποιηθεί σε "ευφυή" συστήματα αυτόματης διαχείρισης της υδρολίπανσης σε καλλιέργειες γλυκιάς πιπεριάς σε κλειστά υδροπονικά συστήματα κάτω από συνθήκες Μεσογειακού κλίματος.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Adams, P., Massey, D.M., 1984. Nutrient uptake by tomatoes from recirculating solutions. In: Proceedings, 6th International Congress on Soilless Culture. ISOSC, Wageningen, The Netherlands, pp. 71-79.

Adams, P. 2002. Nutritional control in hydroponics. In: Savvas, D., Passam, H.C. (eds.). Hydroponic Production of Vegetables and Ornamentals. Embryo Publ., Athens, Greece, pp. 211-261.

De Kreij, C., Voogt, W. and Baas, R. 1999. Nutrient solution and water quality for soilless cultures. Brochure 196.

Research Station for Floriculture and Glasshouse Vegetables PBG Naaldwijk, The Netherlands, 32pp.

Savvas, D., Lenz, F., 1995. Nährstoffaufnahme von Aubergine (Solanum melongena L.) in Hydrokultur. Garten-bauwissenschaft 60, pp. 29–33

Savvas, D., 2002. Automated replenishment of recycled greenhouse effluents with individual nutrients in hydroponics by means of two alternative models. Biosyst. Engin., 83: 225 – 236.

Sonneveld, C., 2002. Composition of nutrient solutions. In: Savvas, D., Passam, H. (eds). Hydroponic Production of Vegetables and Ornamentals. Embryo Publications, Athens, Greece, pp. 179–210.

Sonneveld, C., Voogt, W. 2009. Plant Nutrition of Greenhouse Crops. Springer, Dordrecht Heidelberg, London, New York. 431 p.

Tzerakis, C., Savvas, D., Sigrimis, N., Mavrogiannopoulos, G., 2013. Uptake of Mn and Zn by cucumber grown in closed hydroponic systems as influenced by the Mn and Zn concentrations in the supplied nutrient solution. Hort-Science 48 (3), 373-379 p.

Van Goor, B..J., de Jager, A., Voogt, W., 1988; Nutrient uptake by some horticultural crops during the growing period. In: Proceedings, 7th International Congress on Soilless Culture. ISOSC, Wageningen, The Netherlands, pp. 163–176.

ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΚΑΙ ΔΟΚΙΜΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΥΤΟΜΑΤΗΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΤΩΝ ΑΠΟΡΡΟΩΝ ΣΕ ΗΜΙΚΛΕΙΣΤΑ ΥΔΡΟΠΟΝΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

[1]Νικόλαος Κατσούλας, [2]Δημήτριος Σάββας, [3]Θωμάς Μπαρτζάνας, [1]Κωνσταντίνος Κίττας
[1]Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, οδός Φυτόκου, 38446, Βόλος
[2]Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Ιερά Οδός 75, 11855, Αθήνα
[3]Ινστιτούτο Έρευνας & Τεχνολογίας Θεσσαλίας, Εθνικό Κέντρο Έρευνας και Τεχνολογικής Ανάπτυξης, Ά ΒΙΠΕ Βόλου, 38500, Βόλος

Στην παρούσα εργασία μελετάται η αποτελεσματικότητα ενός αυτόματου συστήματος διαχείρισης των απορροών σε ένα ημίκλειστο υδροπονικό σύστημα. Η διαχείριση γίνεται με βάση την πρόβλεψη της συγκέντρωσης Na^+ ($[Na^+]$). Για το σκοπό αυτό, σε θερμοκήπιο με κάλυψη από φύλλο πολυαιθυλενίου στην περιοχή του Βελεστίνου, εγκαταστάθηκε καλλιέργεια τομάτας και εφαρμόστηκαν τρεις μεταχειρίσεις με βάση τον τρόπο διαχείρισης των απορροών: (α) ημίκλειστο σύστημα (απόρριψη του διαλύματος απορροής όταν η $[Na^+]$ ξεπερνούσε το όριο των 15 mM με στόχο κλάσματος απορροής 30%, (β) ημίκλειστο σύστημα (απόρριψη του διαλύματος απορροής όταν η $[Na^+]$ ξεπερνούσε το όριο των 15 mM με στόχο κλάσματος απορροής 60% και (γ) ανοιχτό σύστημα με στόχο κλάσματος απορροής 30%,. Οι τιμές $[Na^+]$ που μετρήθηκαν συγκρίνονται με αυτές που προσομοιώθηκαν και τα αποτελέσματα που βρέθηκαν συζητούνται στην εργασία αυτή. Η αύξηση του ρυθμού απορροής στο ημίκλειστο σύστημα από 30% σε 60% οδήγησε στην δημιουργία ευνοϊκότερων συνθηκών στο περιβάλλον της ρίζας των φυτών, όπως φαίνεται από τις χαμηλότερες τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας στη μεταχείριση του 60% σε σχέση με την περίπτωση του 30% απορροής. Παρόλα αυτά, η μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα χρήσης νερού παρατηρήθηκε στην περίπτωση του ημίκλειστου συστήματος με 30% κλάσμα απορροής.

Λέξεις κλειδιά: θερμοκήπιο, διαχείριση θρεπτικού διαλύματος, τομάτα, κατανάλωση νερού

DEVELOPMENT AND TEST OF A DECISION SUPPORT SYSTEM FOR MANAGEMENT OF THE DRAINAGE SOLUTION IN SEMI-CLOSED HYDROPONIC SYSTEMS

Nikolaos Katsoulas[1], Dimitrios Savvas[2], Thomas Bartzanas[3], Constantinos Kittas[1]
[1]University of Thessaly, Dept of Agriculture Crop Production and Rural Environment, Fytokou Str, 38446, Volos, Greece, nkatsoul@uth.gr
[2]Agricultural University of Athens, Dept of Crop Science, Iera Odos 75, 11855, Athens, Greece
[3]Center for Research and Technology – HELLAS (CERTH), Institute for Research and Technology-Thessaly, 1st Industrial Area of Volos, PO Box 15, 38500 Volos-Greece

A decision-support system for management of the drainage water in semi-closed hydroponic systems, based on a Na^+ mass-balance model and measurements of plant water consumption, was developed and tested. For this purpose, experiments were carried out from February to July 2012 in a polyethylene covered greenhouse located at the experimental farm of the University of Thessaly in Greece. A tomato crop grown in an open system (O) with a drainage fraction of about 30% was compared with crops grown in semiclosed (SC) systems with drainage fractions of 30% and 60%. The results showed that the model included in the decision support system of the greenhouse, for management of hydroponic systems fertigation, could be successfully used for the control of Na^+ concentration in the nutrient solution. The increase of drainage fraction in the SC system from 30% to 60% helped to keep better conditions in the root zone, as indicated by the lower EC of the drainage solution as compared to the SC-30% system, and resulted to higher crop production. However, the higher water use efficiency was observed under the SC-30% treatment, while the fertilisers discharged were also less under the same treatment than under the O or SC-60% treatments.

Keywords: Greenhouse, nutrient solution management, tomato, crop water consumption

1. INTRODUCTION

Various constraints concerning sustainability and quality also apply to vegetables and ornamentals produced in protected cultivations. Sustainable horticultural production nowadays requires less pesticides and mineral pollution, without loss of yield and product quality. Greenhouse growers routinely apply more irrigation water to the crops than the water requirement in open field. Improper irrigation management practices not only waste scarce and expensive water resources but also decrease marketable yield and economic return (Katsoulas et al., 2006; Montero, 2006).

The open irrigation system in soilless culture is still the most popular system, and at least 10–15% of the water and nutrients are lost from the root environment during low light period and 30–50% during the high light period to avoid salt accumulation. For environmental reasons, re-use of drained irrigation water is desirable and will become a common practice in the near future. The recirculation of the nutrient solution, however, leads

to accumulation of nutrients and high salinity, which requires a flushing rate of 30% or more of the nutrient solution.

Irrigation water in Mediterranean countries is usually characterized by high salt concentrations, including not only Na^+ and Cl^- but also Ca^{2+}, Mg^{2+}, HCO_3^- and SO_4^{2-}. Hence, in most cases, the quality of the available irrigation water in terms of mineral composition is incompatible with the application of completely closed hydroponic systems (Savvas, 2002; van Os et al., 2008). Consequently, to enable Mediterranean growers to adopt recycling of the excess irrigation water, henceforth termed drainage water, efficient solutions have to be found to minimize salt accumulation.

To overcome the problem of salt accumulation, the intermittent closure of the systems (application of semi-closed soilless culture systems) can be applied, which, though do not eliminate can considerably restrict the waste of irrigation water (Carmassi et al., 2005). However, to efficiently apply a semi-closed soilless cultivation system, technology specifically adapted to the Mediterranean types of irrigation water rich in Na^+ but also in Ca^{++} and climatic conditions has to be developed (Pardossi et al., 2006). In a recent paper, Katsoulas et al. (2012) presented an extended version of a mass-balance model initially developed by Savvas et al. (2005, 2007), which was used in semi-closed hydroponic systems to automatically discharge drainage water (DW) when the Na^+ level in the root zone exceeded a preset threshold.

Furthermore, previous research has indicated that an increase in the volume of nutrient solution per plant that is maintained in a closed hydroponic system slows down the process of Na^+ and Cl^- accumulation in the root zone of the plants (Savvas et al., 2007). Maintaining a higher volume of nutrient solution per plant in a closed-loop soilless cultivation is possible by increasing the drainage percentage, i.e. by higher volume of irrigation solution per irrigation event while not altering the standard irrigation frequency, to maximize salt leaching from the root environment. The increased leaching of salts from the root environment could reduce the mean Na^+ concentration in the root zone during the intervals between two irrigation events, thereby mitigating the impact of Na^+ accumulation, due to recycling on yield performance. This strategy is feasible when the DW is recycled, since an increased leaching fraction does not result in increased waste of nutrients and water.

The present paper reports on the effect of two drainage fractions applied using the decision support system (DSS) presented by Katsoulas et al. (2012) on crop yield and water and fertilisers use efficiency in semiclosed hydroponic systems.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1 Greenhouse facilities and plant material

The experiments were performed in a single span, arched roof, polyethylene covered greenhouses, N-S oriented, located at the University of Thessaly near Volos, (Velestino: Latitude 39º 22´, longitude 22º 44´, altitude 85 m) on the continental area of eastern Greece, from February to June of 2012. The geometrical characteristics of the greenhouse were as follows: eaves height of 2.4 m; ridge height of 4.1 m; total width of 8 m; total length of 20 m; ground area of 160 m^2, and volume of 572 m^3. The greenhouse was equipped with two side roll-up vents and a flap roof vent. Heating was achieved by means of PVC pipes (Ø 0.2 m) located above ground, near plants' substrate and by means of a fan-coil air heater located at a height of 2.6 m at the north side of the greenhouse. Greenhouse soil was totally covered by white (water permeable) mulch.

The tomato crop (*Licopersicon esculentum*, cv. Formula) was transplanted during the 17th of February 2012, in rockwool slabs (1 m long, 0.15 m wide, 0.07 m height) placed in 6 independent closed-cycle hydroponic installations (experimental units). Each of the 6 hydroponic units comprised a tank and a pump for nutrient solution supply, a drip irrigation system, a channel, a pipe and a tank for capture and storage of the drainage solution. Each channel, which was 16 m in length, was fixed with a slope of 1% at a height of 0.5 m above the greenhouse ground and accommodated 34 tomato plants distributed over 15 slabs.

A fertigation head, specially designed for this experiment was used to supply nutrient solution, henceforth termed irrigation solution (IS), independently to each experimental unit. The fertigation head comprised six different pumps and supply ducts to avoid mixing of IS from different experimental units. The drainage water collected at the end of each channel, returned to the fertigation head and automatically blended with a standard nutrient solution to form IS. The whole process was controlled automatically through an on-line operating decision support system (DSS) that was part of the fertigation head (ARGOS Electronics s.a. Athens). The pH of the IS was adjusted to 5.6 in all treatments using nitric acid.

The frequency of IS supply via the drip irrigation system was automatically controlled in relation to crop transpiration (E, W m^{-2}) which was calculated as a function of solar radiation (Rg, W m^{-2}) and vapour pressure deficit (D, kPa) [$E = A\, f_1(LAI)\, Rg + B\, f_2(LAI)$, (Katsoulas et al., 1999), with A and B estimated using previously collected data sets of E, Rg and D], measured by a pyranometer and a temperature and humidity sensor, respectively. Irrigation was performed whenever crop transpiration exceeded 0.2 kg per plant and the dose applied aimed at maintaining a drainage fraction of 30% or 60%.

Three treatments differing in the management of the DS and in the drainage fraction were applied in duplicate in the six experimental units:

- a standard open hydroponic system (O), with a drainage fraction of 30%,
- a semi-closed hydroponic system (SC-30%), with a drainage fraction of 30%,

- a semi-closed hydroponic system (SC-60%), with a drainage fraction of 60%.

The DS of the open system was constantly discharged throughout the experiment while for the SC systems the DS was recycled as long as the Na concentration in the system was lower than 15 mM. As soon as the threshold exceeded, the drainage solution was discharged. The EC in the drainage solution was automatically monitored through an EC-sensor connected to the controlling system, while the Na concentration was simulated using a previously established model (Savvas et al., 2005; Varlagas et al., 2010), as presented by Katsoulas et al. (2012; 2013). The target EC value of the IS in the open systems was 2.8 dS m^{-1} while the target EC value of the fresh solution added to the drainage collected in the semiclosed systems was 2.4 dS m^{-1}. The concentration of Na in the fresh irrigation water was 1.1 mM. To obtain irrigation water containing 2 mM NaCl in the nutrient solution, the required quantity of NaCl was automatically computed and injected whenever fresh nutrient solution was prepared.

2.2. Measurements

Air temperature, relative humidity and solar global radiation were measured inside and outside the greenhouse by means of a temperature and humidity sensors (HD9009TR Hygrotransmitter, Delta OHM S.r.L., Padova, Italia), and two solar pyranometers (Middleton EP08-E, Brunswick, Victoria, Australia). Data were and recorded every 10 min using a data logger (ZENO®-3200, Coastal Environmental Systems, Inc., Seattle, WA). The volume of the irrigation water supplied to and drained by each treatment and each EC and pH values were recorded by the DSS. Using the above data the value of Na^+ concentration in each treatment was calculated by the DSS using the Na^+ mass balance model, as presented by Katsoulas et al. (2012; 2013) and shown in section 2.3.

Samples of nutrient solution were taken every 20 days for each replicate of the irrigation solution tanks, each block (sample from 3-4 slabs per block) and drainage solution tanks, for measurement of pH and EC, Na^+ concentration (via flame photometry) and anion and cation concentrations (via HPLC).

Non destructive measurements [plant stem length, leaf number and length (L) of each leaf] was made in six randomly selected plants per replication distributed in two blocks, 10 times during the experimental period. A scanner (GT 9500, Epson, Nagano, Japan) was used to measure leaf area (LA), allowing correlation of LA to L, which was later used to estimate LA as a function of L measurement in each plant. Fruit harvesting took place twice a week, starting on April 2011. The harvested fruits from each block were weighted and the total production (kg m^{-2}) was calculated for each treatment.

2.3. DSS Description

A mass balance model was used, that relates the concentration of Na in the recycled nutrient solution with the cumulative uptake of water by the plants (Savvas *et al*., 2005a, 2008). This model is based on the experimental determination of an empirical relationship between the concentration of Na^+ in the root environment (C_{Nas}) and the respective Na^+/water uptake ratio (C_{Nau}) by a particular plant species. According to Sonneveld *et al*. (1999) and Savvas *et al*. (2005b), the relationship between C_{Nas} and C_{Nau} may be a linear function but for most plant species cultivated in greenhouses is linear of the type:

$$C_{Nau} = aC_{Nas}{}^{b} \quad (1)$$

where *a* and *b* are constant values depending on the crop species.

When the entire amount drainage solution in a hydroponically-grown crop is collected and recycled, the only input of Na and water to the closed system originates from the net input of irrigation water while the only removal of Na from the system is through plant uptake. Thus the Na^+/water input ratio is equal to the Na concentration in the irrigation water used to prepare nutrient solution (C_{Naw}), while the Na^+/water input ratio is equal to C_{Nau}), which is commonly termed uptake concentration (Sonneveld, 2002). Under these conditions, any increase of C_{Nas} is proportional to the increase in the total water input to the crop (V_w) and to the difference between the rates of Na input and Na removal (C_{Naw} - C_{Nau}), and reversely proportional to the total volume of nutrient solution included in the closed system (V_s). Mathematically, this relationship is written in form of a mass balance equation as follows:

$$dC_{Nas} = dV_w(C_{Naw} - C_{Nau})/V_s \quad (2)$$

Rearranging Eq. (2), one obtains the following differential equation:

$$dC_{Nas}/dV_w = (C_{Naw} - C_{Nau})/V_s \quad (3)$$

Replacing (1) in (3) one obtains:

$$dC_{Nas}/dV_w = (C_{Naw} - aC_{Nas}{}^{b})/V_s \quad (4)$$

In Eqn (4), C_{Nas} is a variable indicating the accumulation of Na in the closed system, V_w is an increasing variable that can be automatically monitored using suitable equipment, C_{Naw} is a known constant through a chemical analysis, and V_s is a value that remains roughly constant through the cropping period. Furthermore, *a* and *b* have been determine experimentally for tomato (Varlagas *et al*., 2010). Thus, (4) can be used to predict C_{Nas} as a relationship of the constantly monitored variable V_w. In the general case, there is no analytical solution satisfying the differential equation (4) and, therefore, Savvas *et al*. (2005a) applied a numerical method according to Butcher (1987).

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1 Water Consumption

The irrigation events were the same for all treatments. However, the water applied was 0.286 mL per plant for the open (O) and the semi-closed hydroponic system with the drainage fraction of 30%, (SC-30%), and 0.500 mL per plant for the semi-closed hydroponic system with the drainage fraction

of 60%, (SC-60%). Thus, the cumulative volume of the irrigation solution (IS) supplied to the crop was 0.720 m^3 m^{-2} for the O, 0.715 m^3 m^{-2} for the SC-30%, and 1.172 m^3 m^{-2} for the SC-60% treatments. The evolution of the cumulative volume of the nutrient solution that was consumed by the crop in the three treatments is shown in Fig. 1. It can be seen that the crop with 60% drainage seems to have absorb more water than the other two treatments which means that the higher drainage fraction led to higher water availability and better root zone conditions.

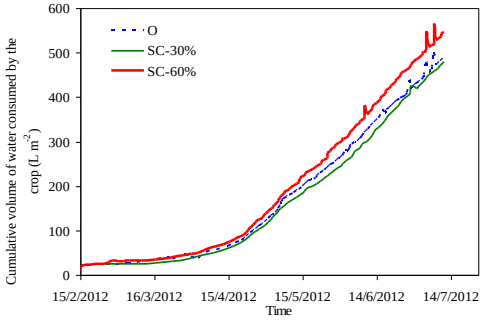


Fig. 1. Dynamics of cumulative volume of nutrient solution absorbed by the crop for the three hydroponic systems during the experimental period.

The drained solution (DS) collected and discharged in the O treatment was about 0.233 m^3 m^{-2}, with mean value of EC of 4.8 dS m^{-1}. The mean value of the ratio of IS supplied to the DS collected in the O treatment was about 0.33.

The DS collected in the SC-30% & 60% treatments was about 0.235 m^3 m^{-2} & 0.625 m^3 m^{-2}, respectively, with mean value of EC of 6.6 dS m^{-1} and 5.4 dS m^{-1}, respectively. The drainage collected in SC-30% & 60% was discharged whenever the Na^+ concentration of system was higher than 15 mmol L^{-1}. Thus, while in the open system all the drainage solution collected was discharged; the volume of DS discharged for the SC-30% & 60% treatments was 0.050 m^3 m^{-2} & 0.064 m^3 m^{-2}, respectively.

Taking into account the above, it can be calculated that the total volume of fresh water consumed for the SC-30% and SC-60% treatments was about 0.530 m^3 m^{-2} and 0.611 m^3 m^{-2}, respectively, while the respective value for the open treatment was 0.720 m^3 m^{-2}.

3.2 Electrical Conductivity of Nutrient Solution

The target EC value of the nutrient solution mixed with the DS in the SC treatments to produce the IS was 2.4 dS m^{-1} while the target EC for the open treatment was 2.8 dS m^{-1}. The dynamics of the EC values of the drainage and the irrigation solution in the three treatments is shown in Fig. 2. It can be seen that after the end of April the EC of the drainage solution in the SC-30% system was about 8 dS m^{-1} while the respective value for the SC-60% was about 2 dS m^{-1} lower than that of SC-30%. The dynamics of the EC values of the drainage solution in the open system was similar to that of the SC-60% treatment with lower values from SC-60% during the last two months of the experimental period. The EC of the IS can be calculated as the sum of (a) the drainage rate multiplied by the EC value of DS and (b) the percentage of fresh water used for the preparation of IS multiplied by the target EC of the fresh nutrient solution. It can be seen in Fig. 2 that the EC values of the irrigation solution were almost similar for the SC systems with the higher values being observed for the SC-60% system during the two last months of the experimental period. The respective EC values for the O system were almost constant near the target value of 2.8 dS m^{-1}.

3.3 Na^+ Concentration Measurements and Modelling

The dynamics of modelled by the DSS Na^+ concentration in the three treatments during the total experimental period, are shown in Fig. 3. It can be seen that Na^+ concentration in the SC-60% treatment was slightly lower than that of the SC-30% treatment. Na^+ concentration in the open hydroponic system was always lower than 5 mM and remained between the level of 3 mM to 5 mM during the whole experimental period. The respective values of Na^+ concentration in the SC systems progressively increased during the experimental period. Whenever the set point of 15 mM was reached the drained solution was discharged in order to decrease Na^+ concentration below 15 mM.

However, the modelled Na^+ values were always higher than the measured ones and the relationship found between measured and modelled values was: Modelled Na^+ = 0.72 x Measured Na^+ + 5.45, with a determination coefficient of 0.80. The agreement between measured & modelled values was better for Na^+ concentration values were higher than 10 mM.

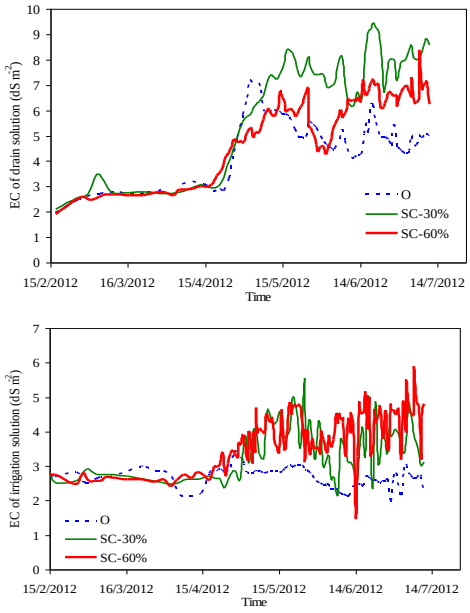


Fig. 2. Dynamics of EC values of (a) drainage solution and (b) irrigation solution during the experimental period.

3.4 Crop Production and Fertilisers Discharged

The evolution of plant height in the three treatments during the experimental period was similar

and the final height reached by the plants was near the 2.5 m for all treatments. As far as the total production is concerned, the values observed in the O, SC-30% and SC-60% treatments were 13.2 kg m^{-2}, 12.3 kg m^{-2} and 12.8 kg m^{-2}, respectively.

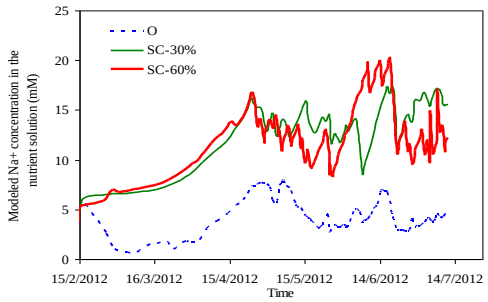


Fig. 3. Dynamics of Na^+ concentration in the nutrient solution of the three hydroponic systems during the experimental period.

Taking into account the water consumed in each treatment and the production presented above, the water use efficiency (WUE) calculated for the O, SC-30% and SC-60% treatments was 19.3 kg m^{-3}, 23.2 kg m^{-3} and 20.9 kg m^{-3}, respectively, with the value for the SC-30% treatment being statistically significantly higher than the other two treatments.

4. CONCLUSION

The results showed that the model included in the decision support system of the greenhouse, for management of hydroponic systems fertigation, could be successfully used for the control of Na^+ concentration in the nutrient solution. The increase of drainage fraction in the SC system from 30% to 60% helped to keep better conditions in the root zone, as indicated by the lower EC of the drainage solution as compared to the SC-30% system, and resulted to higher crop production. However, the higher water use efficiency was observed under the SC-30% treatment, while the fertilisers discharged were also less under the same treatment than under the O or SC-60% treatments.

ACKNOWLEDGEMENTS

This work was supported by the EU Seventh Framework Programme, within the project 'Sustainable use of irrigation water in the Mediterranean Region-SIRRIMED' (grant agreement no: 245159), which is carried out under the EFP7 Cooperation Theme 'Food, Fisheries & Biotechn'.

Literature Cited

Butcher, J.C., 1987. The numerical analysis of ordinary differential equations: Runge-Kutta and general linear methods. Wiley, London.

Carmassi, G., Incrocci, L., Maggini, R., Malorgio, F., Tognoni, F. and Pardossi, A., 2005. Modelling salinity build-up in recirculating nutrient solution culture. J. Plant Nutr., 28: 431-445.

Katsoulas, N., Kakavikakis, G., Kittas, C., Bartzanas, T. and Savvas, D. 2012. Performance test of a Na^+ accumulation model as part of a decision support system for closed hydroponic systems management. Acta Hort., 957: 139-145.

Katsoulas, N., Savvas, D., Bartzanas, T., Kittas, C., 2013. Development and Evaluation of a DSS for Drainage Management in Semi-closed Hydroponic Systems. International Symposium on Growing Media and Hydroponics, 17-21 June 2013, Leiden, The Netherlands.

Katsoulas, N., Kittas, C. and Baille, A., 1999. Estimating transpiration rate and canopy resistance of a rose crop in a fan-ventilated greenhouse. Acta Hortic., 548: 303-309.

Katsoulas, N., Kittas, C., Dimokas, G. and Lykas, Ch., 2006. Effect of irrigation frequency on rose flower production and quality. Biosyst. Engin., 93: 237-244.

Montero, J. I., 2006. Evaporative cooling in greenhouses: Effect on microclimate, water use efficiency, and plant response. Acta Hort., 719: 373-384.

Pardossi, A., Malorgio, F., Incrocci, L., Carmassi, G., Maggini, R., Massa, D. and Tognoni, F., 2006. Simplified models for the water relations of soilless cultures: What they do or suggest for sustainable water use in intensive horticulture. Acta Hort., 718: 425-434.

Savvas, D., Stamati, E., Tsirogiannis, I. L., Mantzos, et al., 2007. Interactions between salinity and irrigation frequency in greenhouse pepper grown in a closed-loop hydroponic system. Agr. Wat. Manag., 91: 102-111

Savvas, D., 2002. Nutrient solution recycling. In: Savvas, D., and Passam H.C. (Eds). Hydroponic production of vegetables and ornamentals. Embryo Pub., Athens, Greece, pp. 299-343.

Savvas, D., Pappa, V.A., Kotsiras, A. and Gizas, G., 2005a. NaCl accumulation in a cucumber crop grown in a completely closed hydroponic system as influenced by NaCl concentration in irrigation water. Europ. J. Hort. Sci. 70: 217-223.

Savvas, D., Kotsiras, A. Meletiou, G. Margariti, S. Tsirogiannis, I., 2005b. Modeling the relationship between water uptake by cucumber and NaCl accumulation in a closed hydroponic system. HortScience, 40: 802-807.

Sonneveld, C., R. Baas, H.M.C. Nijssen, and J. de Hoog. 1999. Salt tolerance of flower crops grown in soilless culture. J. Plant Nutr. 22:1033-1048.

Sonneveld, C., 2002. Composition of nutrient solutions, p. 179-210. In: D. Savvas and H.C. Passam (eds.). Hydroponic Production of Vegetables and Ornamentals. Embryo Publications, Athens, Greece.

Van Os, E., Gieling, T.H. and Lieth, H.J., 2008. Technical equipment in soilless production systems. In: Raviv, M., and Lieth, H.J. (Eds). Soilless Culture: Theory and Practice. Elsevier, Amsterdam, pp. 157-207.

Varlagas, H, Savvas, D., Mouzakis, G., Liotsos, C., Karapanos, I. and Sigrimis, N., 2010. Modelling uptake of Na^+ and Cl^- by tomato in closed-cycle cultivation systems as influenced by irrigation water salinity. Agric. Wat. Manag. 97: 1242-1250.

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΔΙΧΤΥΟΚΗΠΙΩΝ ΣΤΟ ΜΙΚΡΟΚΛΙΜΑ ΚΑΙ ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ ΓΛΥΚΙΑΣ ΠΙΠΕΡΙΑΣ

Νικόλαος Ρηγάκης[1], Νικόλαος Κατσούλας[1], Παναγιώτης Μπελιτσιώτης[1], Θωμάς Μπαρτζάνας[2] και Κωνσταντίνος Κίττας[1]

[1]Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών και Ελέγχου Περιβάλλοντος, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Οδός Φυτόκου, Νέα Ιωνία Μαγνησίας, Τ.Κ. 384446

[2]Ινστιτούτο Έρευνας και Τεχνολογίας Θεσσαλίας, Εθνικό Κέντρο Έρευνας και Τεχνολογικής Ανάπτυξης

Στην παρούσα εργασία διερευνήθηκε πειραματικά η επίδραση τριών διαφορετικών διχτυών κάλυψης στο μικροκλίμα, στην ανάπτυξη και στην παραγωγή καλλιέργειας πιπεριάς και τα αποτελέσματα συγκρίθηκαν με την περίπτωση καλλιέργειας στον ανοικτό αγρό. Τα διχτυοκήπια καλύφθηκαν με τα εξής δίχτυα: (α) εντομοστεγανό δίχτυ (50-mesh), διάφανο, με ποσοστό σκίασης περίπου 13% (*IP13%*), (β) εντομοστεγανό δίχτυ (50-mesh), λευκό, με ποσοστό σκίασης περίπου 34% (*IP34%*) και (γ) δίχτυ σκίασης, πράσινο, με ποσοστό σκίασης περίπου 36% (*G36%*). Τα δίχτυα (α) και (β) είχαν το ίδιο πορώδες αλλά διαφορετικό ποσοστό σκίασης ενώ τα δίχτυα (β) και (γ) είχαν παρόμοιο ποσοστό σκίασης αλλά διαφορετικό πορώδες. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων του μικροκλίματος έδειξαν μείωση της ηλιακής ακτινοβολίας πάνω από τις καλλιέργειες εντός των διχτυοκηπίων ανάλογη του ποσοστού σκίασης κάθε διχτυού, ενώ η θερμοκρασία και το έλλειμμα κορεσμού υδρατμών του αέρα εντός των διχτυοκηπίων ήταν παρόμοια με εκείνα στον ανοικτό αγρό. Ωστόσο, η παρουσία των διχτυών βελτίωσε το μικροκλίμα των διχτυοκηπίων, όπως αυτό υποδεικνύεται από την μείωση της διαφοράς θερμοκρασίας καλλιέργειας-αέρα και του ελλείμματος κορεσμού υδρατμών καλλιέργειας-αέρα. Εντός των διχτυοκηπίων παρατηρήθηκε αύξηση της συνολικής παραγωγής, σε σχέση με τον ανοικτό αγρό, κατά 78%, 30% και 7% στα διχτυοκήπια *IP13%*, *IP34%* και *G36%*, αντίστοιχα. Η εμπορεύσιμη παραγωγή εντός των διχτυοκηπίων ήταν περίπου 90% επί της συνολικής έναντι 60% της αντίστοιχης στον ανοικτό αγρό. Επιπλέον, η ποιότητα της παραγωγής εντός των διχτυοκηπίων ήταν υψηλότερη σε σχέση με τον ανοικτό αγρό, καθώς συγκομίστηκαν μεγαλύτερου μεγέθους καρποί, σχεδόν εξαλείφθηκε το ηλιακό έγκαυμα των καρπών, μειώθηκε δραστικά η ξηρή σήψη κορυφής (BER), ενώ στα εντομοστεγανά διχτυοκήπια μειώθηκε και ο αριθμός των καρπών που είχαν σημάδια προσβολής από θρίπες.

Λέξεις κλειδιά: Δίχτυ σκίασης, δίχτυ εντομοστεγανότητας, παραγωγή, ποιότητα παραγωγής, ηλιακά εγκαύματα, ξηρά σήψη κορυφής.

SCREENHOUSE EFFECT ON MICROCLIMATE AND PRODUCTIVITY OF A SWEET PEPPER CROP

Nikolaos Rigakis[1], Nikolaos Katsoulas[1], Panagiotis Belitsiotis[1], Thomas Bartzanas[2] and Constantinos Kittas[2]

[1]Laboratory of Agricultural Constructions and Environmental Control, Department of Agriculture Crop Production and Rural Environment, University of Thessaly, Fytokou Street, N. Ionia, GR-38446, Volos, Greece

[2]Insitute of Research and Technology of Thessaly, Centre for Research and Technology Hellas

rigakis@uth.gr, nkatsoul@uth.gr, thomas.bartzanas@gmail.com, ckittas@uth.gr

In the present work, the influence of three different screens on microclimate, development and yield of a sweet pepper crop was investigated and the results were compared to those of an open field crop. Screenhouse frames were covered with the following nets: (a) clear insect-proof net (50-mesh) with shading factor 13% (*IP13%*), (b) white insect-proof net (50-mesh) with shading factor 34% (*IP34%*) and (c) green shade net with shading factor 36% (*G36%*). Nets (a) and (b) had same porosity but different shading factor, while (b) and (c) had same shading factor but different porosity. Microclimate measurement studies revealed a reduction in the incident solar energy above the crops inside screenhouses relevant to the shading factor of each net, while air temperature and vapor pressure deficit were not modified compared to the open field conditions. However, the presence of nets improved microclimate inside screenhouses, as been indicated by the significantly reduced canopy-to-air temperature difference and canopy-to-air vapor pressure deficit. Total yield increased by 78%, 30% and 7% inside screenhouses *IP13%*, *IP34%* and *G36%*,, respectively, compared to the open field yield. Marketable yield inside screenhouses was about 90% of the total harvested yield, while in the open field was about 60%. Furthermore, quality of yield was improved inside screenhouses compared to the open field, harvesting larger fruits than those of the open field, while sunscald was almost eliminated, BER was significantly reduced and inside insect proof screenhouses defects from thrips attacks were also reduced.

Keywords: Shade net, insect proof screen, yield, quality of yield, sunscald, BER.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Την περασμένη δεκαετία μεγάλο μέρος της εντατικής γεωργίας μετατοπίστηκε, στο Ισραήλ, στην Ιταλία, στη νότια Ισπανία και αλλού, εντός των διχτυοκηπίων. Καθώς η τεχνική καλλιέργειας σε διχτυοκήπια είναι σχετικά νέα, δεν υπάρχουν αρκετά στοιχεία σχετικά με τις εκτάσεις που καλλιεργούνται υπό σκίαση. Παρόλα αυτά οι εκτάσεις είναι αρκετές και μόνο στο Ισραήλ καλλιεργούνται περίπου 60000 στρέμματα (M. Teitel, προσωπική επικοινωνία), ενώ

στην Ελλάδα οι καλλιεργούμενες εκτάσεις υπό σκίαση φαίνεται να ξεπερνούν τις 10000 στρέμματα (υπολογισμοί εκτάσεων από την «Πλαστικά Θράκης ΑΕ», προσωπική επικοινωνία. Η συνεχώς αυξανόμενη χρήση των κατασκευών αυτών και ιδιαίτερα αυτών που καλύπτονται με εντομοστεγανά δίχτυα, προέρχεται κυρίως από την αυξανόμενη ζήτηση για «καθαρά» προϊόντα παραγόμενα με μειωμένη χρήση φυτοπροστατευτικών σκευασμάτων (Castellano et al., 2008). Τα διχτυοκήπια αποτελούν μια τεχνική καλλιέργειας φιλική προς το περιβάλλον και την υγεία των παραγωγών και των καταναλωτών καθώς μειώνουν την ανάγκη για χρήση εντομοκτόνων. Έχει βρεθεί ότι η αποδοτικότερη επένδυση για κάθε περιοχή δεν είναι απαραίτητα και η περισσότερο ακριβή ή η τεχνολογικά περισσότερο ανεπτυγμένη (Vanthoor et al., 2012). Τα διχτυοκήπια, τα οποία σε σχέση με το θερμοκήπιο αποτελούν μια χαμηλού κόστους επένδυση, προστατεύουν αποτελεσματικά την καλλιέργεια από τα υψηλά επίπεδα της ηλιακής ακτινοβολίας κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, αυξάνοντας σημαντικά όχι μόνο την συνολική αλλά και την εμπορεύσιμη παραγωγή, εξαλείφοντας τα ηλιακά εγκαύματα των καρπών και τα προβλήματα που προκύπτουν από τις υψηλές θερμοκρασίες που αναπτύσσονται στην καλλιέργεια στον ανοιχτό αγρό (Kittas et al., 2012). Παράλληλα, συμβάλλουν στην εξοικονόμηση νερού καθώς σε σχέση με την καλλιέργεια στον ανοικτό αγρό μειώνουν την κατανάλωση νερού από την καλλιέργεια (Möller and Assouline, 2007; Katsoulas et al., 2012). Επιπλέον, τα δίχτυα δίνουν τη δυνατότητα τροποποίησης της ποιότητας της ηλιακής ακτινοβολίας και μέσω της φωτομορφογέννεσης μπορεί να επηρεάσουν ευνοϊκά την ανάπτυξη και παραγωγή της καλλιέργειας (Shahak et al., 2008).

Οι Kittas et al., (2009) μελέτησαν την επίδραση 3 επιπέδων σκίασης (34%, 40% & 49%) στην παραγωγή και στην ποιότητα των καρπών καλλιέργειας τομάτας στην ανατολική Ελλάδα (Μαγνησία). Η σκίαση αύξησε την συνολική και την εμπορεύσιμη παραγωγή περίπου 43% και 100%, αντίστοιχα, σε σχέση με την καλλιέργεια χωρίς σκίαση. Καλλιέργεια πιπεριάς εντός διχτυοκηπίου καλυμμένου με μαύρο δίχτυ σκίασης 30%, απέδωσε 5.9 και 9.3 kg m^{-2} το 2004 και το 2005 αντίστοιχα (Möller and Assouline, 2007). Οι Romacho et al. (2006) δεν βρήκαν διαφορές στην επίδραση διάφανου και πράσινου διχτύου επί της παραγωγής καρπών υψηλής ποιοτικής κλάσης τομάτας cherry.

Από τα παραπάνω φαίνεται ότι είναι ανάγκη, λοιπόν, να βρεθεί ποιά είναι τα κατάλληλα δίχτυα σκίασης (χρώμα, διαπερατότητα, πορώδες) κηπευτικών καλλιεργειών σε μεσογειακές περιοχές κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού προκειμένου να επιτυγχάνεται η μέγιστη ποσότητα και η βέλτιστη ποιότητα των προϊόντων. Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη της επίδρασης τριών διχτυών με διαφορετικό πορώδες, συντελεστή σκίασης και χρώμα στο μικροκλίμα και στην παραγωγικότητα καλλιέργειας πιπεριάς εντός διχτυοκηπίων σε μεσογειακή περιοχή.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1. Πειραματικές εγκαταστάσεις

Τα πειράματα διεξήχθηκαν σε τρία πειραματικά διχτυοκήπια με επίπεδη οροφή, διαστάσεων 20 m (μήκος), 10 m (πλάτος) και 3.2 m (ύψος), προσανατολισμένα B-N (με απόκλιση 36° από τον Βορρά), εγκατεστημένα στο αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας στο Βελεστίνο: γ.π. 39° 22', γ.μ. 22° 44', ύψος 85 m κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού και του φθινοπώρου του 2012. Τρία διαφορετικά δίχτυα δοκιμάστηκαν: (α) ένα εντομοστεγανό (anti-thrip net, 50-mesh) με διάφανα νήματα και συντελεστή σκίασης 13% ($IP_{13\%}$) (AntiVirusTM, Meteor Agricultural Nets Ltd, Israel), (β) ένα εντομοστεγανό (anti-thrip net, 50-mesh) με λευκά νήματα και συντελεστή σκίασης 34% ($IP_{34\%}$) (Bionet™, Meteor Agricultural Nets Ltd, Israel) και (γ) ένα πράσινο δίχτυ σκίασης με συντελεστή 36% ($G_{36\%}$) (Πλαστικά Θράκης ΑΕ. Ξάνθη, Ελλάδα). Επομένως, τα $IP_{13\%}$ και $IP_{34\%}$ είχαν το ίδιο πορώδες αλλά διαφορετικό συντελεστή σκίασης, ενώ τα $IP_{34\%}$ και $G_{36\%}$ έχουν παρόμοιο συντελεστή σκίασης αλλά διαφορετικό πορώδες, διότι το $G_{36\%}$ έχει μεγαλύτερο μέγεθος οπών από τα $IP_{13\%}$ και $IP_{34\%}$. Οι συντελεστές σκίασης που προαναφέρθηκαν υπολογίστηκαν από εργαστηριακές μετρήσεις για μήκη κύματος 350 nm - 1100 nm με τη χρήση φασματοφωτομέτρου (model LI-1800, LI-COR, Lincoln, NE, USA) εξοπλισμένου με λαμπτήρα αλογόνου 10 W και εξωτερική σφαίρα ολοκλήρωσης (model LI-1800-12S, LI-COR, Lincoln, NE, USA).

Σπορόφυτα γλυκιάς πιπεριάς (*Capsicum annuum L., cv. Dolmi*) μεταφυτεύθηκαν στις 8 Μαίου του 2012, σε 5 διπλές γραμμές φύτευσης σε αποστάσεις 0.5 m x 0.5 m επί των διπλών γραμμών φύτευσης, ενώ η απόσταση μεταξύ δύο γειτονικών διπλών γραμμών ήταν 1.2 m. Φυτά μεταφυτεύθηκαν και καλλιεργήθηκαν και στον ανοικτό αγρό που χρησιμοποιήθηκε ως μάρτυρας (Cont). Τα φυτά κλαδεύτηκαν σύμφωνα με το ισπανικό σύστημα, υποστηρίχθηκαν με κάθετα σχοινιά τα οποία προσδέθηκαν σε οριζόντια σύρματα που ήταν προσαρτημένα κατά μήκος του σκελετού των διχτυοκηπίων και καλλιεργήθηκαν σύμφωνα με την κοινή πρακτική. Η άρδευση της κάθε καλλιέργειας γινόταν όταν το άθροισμα της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας ξεπερνούσε τα 21.5 MJ m^{-2} και τότε εφαρμόζονταν 4.61 mm νερού με στάγδην άρδευση.

2.2 Μετρήσεις

Τα παρακάτω κλιματικά δεδομένα καταγραφόταν στο μέσον κάθε διχτυοκηπίου και στον ανοικτό αγρό: (α) θερμοκρασία και σχετική υγρασία αέρα με τη χρήση αισθητήρων θερμοκρασίας και υγρασίας (HOBO H8 ProRH/ Temp.Logger., Onset, USA), τοποθετημένων εντός προστατευτικών έναντι της ηλιακής ακτινοβολίας κελυφών, σε ύψος 1.5 m από την επιφάνεια του εδάφους, (β) συνολική ηλιακή

ακτινοβολία με τη χρήση πυρανομέτρων (model SP-LITE Silicon Pyranometer, Campbell Scientific, Inc., U.S.A.) εγκατεστημένων σε ύψος 1.5 m από την επιφάνεια του εδάφους (πάνω από την κεντρική γραμμή φύτευσης), (γ) ταχύτητα και διεύθυνση του ανέμου εκτός των διχτυοκηπίων θερμοκρασία φύλλων με θερμοζεύγη Cu-Co (type T, wire diameter 0.5 mm, Omega Engineering, Manchester, U.K.) προσαρτημένα στην κάτω επιφάνεια 10 αντιπροσωπευτικών φύλλων από φυτά κάθε μεταχείρισης. Μετρήσεις της ηλιακής ακτινοβολίας της ταχύτητας και της διεύθυνσης του ανέμου και της θερμοκρασίας των φύλλων γινόταν κάθε 30 s και η μέση τιμή τους υπολογίζονταν για κάθε 10 min και αποθηκεύονταν σε καταγραφική συσκευή (data logger system, model DL3000, Delta-T Devices, Cambridge, U.K.).

Σειρά μη καταστροφικών μετρήσεων (ύψος φυτών, αριθμός φύλλων) διεξάγονταν κάθε 15 ημέρες, σε 8 τυχαία επιλεγμένα φυτά για κάθε μεταχείριση. Κάθε ημέρα συγκομιδής καταγράφονταν το βάρος και ο αριθμός των συγκομισμένων και από το συνολικό άθροισμά τους προέκυψε η συνολική παραγωγή (kg m^{-2}). Η παραγωγή χωρίστηκε σε εμπορεύσιμη και μη εμπορεύσιμη, βάσει παρουσίας φυσιολογικών ανωμαλιών (ηλιακά εγκαύματα και ξηρή σήψη κορυφής (BER)) και βλαβών από θρίπες.

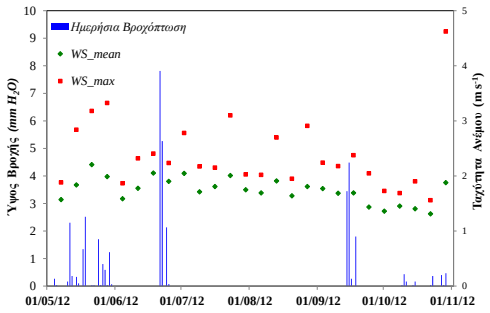
Σειρά καταστροφικών μετρήσεων διεξάγονταν κάθε 21 ημέρες, σε 4 τυχαία επιλεγμένα φυτά για κάθε μεταχείριση. Τα φυτικά όργανα (βλαστοί, φύλλα και καρποί) ζυγίζονταν για να μετρηθεί το νωπό βάρος τους και στην συνέχεια ξηραινόταν (48 h στους 85°C) και κατόπιν μετριόταν το ξηρό βάρος τους.

Η στατιστική ανάλυση των δεδομένων έγινε με την χρήση του στατιστικού πακέτου SPSS (SPSS-14.0 for Windows standard version, 2005, SPSS BI Greece S.A.) με την μέθοδο επαναλαμβανόμενων μετρήσεων (*repeated measures*), σε επίπεδο σημαντικότητας $P<0.05$ και με τη εφαρμογή του κριτηρίου Duncan.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

3.1. Μικροκλίμα

Οι παρατεταμένες βροχοπτώσεις αλλά και οι ισχυροί άνεμοι κατά την διάρκεια του Μαΐου επηρέασαν αρνητικά την καλλιέργεια του ανοικτού αγρού (οπτική παρατήρηση). Η μέση ημερήσια τιμή ανά εβδομάδα της ταχύτητας του ανέμου κυμάνθηκε μεταξύ 1.3 and 2.2 m s^{-1}, ενώ η αντίστοιχη μέγιστη δεν ξεπερνούσε συνήθως τα 3.3 m s^{-1} (Διάγραμμα 1).



Διάγραμμα 1. Βροχόπτωση ανά ημέρα και ταχύτητα του ανέμου ανά εβδομάδα (μέση & μέγιστη τιμή) κατά την καλλιεργητική περίοδο 2012.

Τα διχτυοκήπια $IP_{34\%}$ and $G_{36\%}$ είχαν παρόμοιες τιμές εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας (Πίνακας 1). Η περατότητα των διχτυοκηπίων υπολογίστηκε από τον λόγο του μέσου ημερήσιου αθροίσματος ανά μήνα της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας εντός των διχτυοκηπίων προς το μέσο ημερήσιο άθροισμα ανά μήνα της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας στον ανοικτό αγρό. Έτσι, οι περατότητες των διχτυοκηπίων ήταν 0.74, 0.62 και 0.62 για τα $IP_{13\%}$, $IP_{34\%}$ και $G_{36\%}$ διχτυοκήπια, αντίστοιχα. Η μείωση της περατότητας στον πειραματικό αγρό σε σχέση με εκείνη που μετρήθηκε στο εργαστήριο θα μπορούσε να αποδοθεί (α) στο ότι οι εργαστηριακές μετρήσεις περιλαμβάνουν κάθετη πρόσπτωση της ακτινοβολίας από την λάμπα αλογόνου, ενώ στον αγρό η πρόσπτωση της ηλιακής ακτινοβολίας γίνεται υπό γωνία (κλίση του ηλίου) (β) στον αγρό παρατηρείται συσσώρευση σκόνης στην επιφάνεια των διχτυών και (γ) στην επίδραση των δομικών στοιχείων του σκελετού των διχτυοκηπίων.

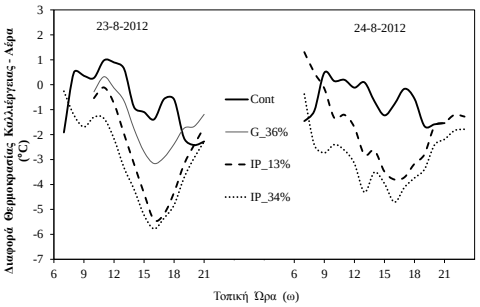
Πίνακας 1. Μέση τιμή ανά μήνα του ημερήσιου αθροίσματος της ηλιακής ακτινοβολίας (Rs; MJ m^{-2}) που προσπίπτει στην καλλιέργεια κάθε διχτυοκηπίου και σε εκείνη του ανοικτού αγρού.

	[a]R_s (MJ m^{-2})			
	Cont	$IP_{13\%}$	$IP_{34\%}$	$S_{36\%}$
Ιούλιος	24,64	17,76	15,34	15,41
Αύγουστος	22,08	16,45	13,63	13,75
Σεπτέμβριος	16,52	12,24	10,27	9,94

[a]R_s: Ημερήσιο άθροισμα της ηλιακής ακτινοβολίας

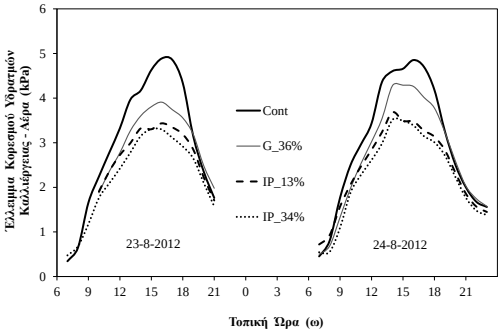
Καμία σημαντική διαφορά δεν παρατηρείται τόσο στην θερμοκρασία όσο και στο έλλειμμα κορεσμού υδρατμών του αέρα. Επομένως, όποιες διαφορές στην απόδοση των φυτών ανάμεσα στις μεταχειρίσεις του πειράματος μπορούν να αποδοθούν κυρίως στις διαφορές στην προσπίπτουσα, στις καλλιέργειες, ηλιακή ακτινοβολία.

Στο Διάγραμμα 2 παρουσιάζεται η διακύμανση της διαφοράς της θερμοκρασίας καλλιέργειας-αέρα (δT_c) και στο Διάγραμμα 3 εκείνη του ελλείμματος κορεσμού υδρατμών καλλιέργειας- αέρα (D_c), σε όλες τις μεταχειρίσεις του πειράματος, κατά τη διάρκεια δυο χαρακτηριστικών ημερών της πειραματικής περιόδου 2012.



Διάγραμμα 2. Εξέλιξη της διαφοράς θερμοκρασίας καλλιέργειας- αέρα (δT_c) στα διχτυοκήπια και στον ανοικτό αγρό, κατά τη διάρκεια δυο χαρακτηριστικών ημερών της πειραματικής περιόδου 2012.

Εντός των διχτυοκηπίων η δT_c ήταν πάντα μικρότερη της αντίστοιχης του ανοικτού αγρού. Η μέση τιμή της δT_c ήταν -0.6°C ενώ οι αντίστοιχες για τα διχτυοκήπια τα $IP_{13\%}$, $IP_{34\%}$ και $G_{36\%}$ ήταν -2.3°C , -3.2°C και -1.5°C, αντίστοιχα.



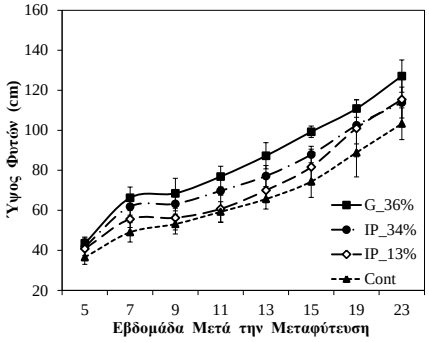
Διάγραμμα 3. Εξέλιξη του ελλείμματος κορεσμού υδρατμών (D_c) καλλιέργειας-αέρα στα διχτυοκήπια και στον ανοικτό αγρό κατά τη διάρκεια δύο χαρακτηριστικών ημερών της πειραματικής περιόδου 2012.

Οι τιμές του D_c στον ανοικτό αγρό είναι πάντα μεγαλύτερες από τις αντίστοιχες εντός των διχτυοκηπίων. Αυτό θα μπορούσε να εξηγηθεί από τις χαμηλότερες τιμές της διαφοράς θερμοκρασίας καλλιέργειας-αέρα που παρατηρούνται εντός των διχτυοκηπίων σε σχέση με τον ανοικτό αγρό.

3.2 Αγρονομικά χαρακτηριστικά

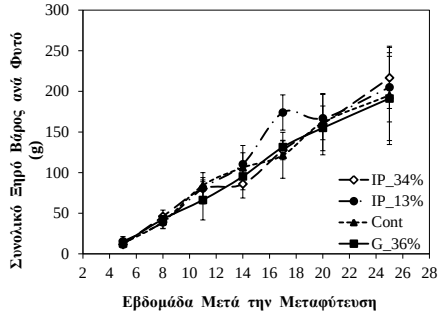
3.2.1 Αύξηση & Ανάπτυξη

Τα φυτά εντός του διχτυοκηπίου $G_{36\%}$ είχαν στατιστικώς σημαντικά μεγαλύτερο ύψος από εκείνα των $IP_{13\%}$, $IP_{34\%}$, κατά την διάρκεια της πειραματικής περιόδου, ενώ τα φυτά του ανοικτού αγρού είχαν στατιστικώς σημαντικά μικρότερο ύψος από εκείνα των διχτυοκηπίων (Διάγραμμα 4.). Το ύψος των φυτών αυξάνεται με την αύξηση του συντελεστή σκίασης. Συγκρίνοντας τα φυτά των διχτυοκηπίων $IP_{34\%}$ και $G_{36\%}$ θα ανέμενε κανείς ότι θα παρουσίαζαν παρόμοιο ύψος. Η παρατηρούμενη διαφορά θα μπορούσε να αποδοθεί στην ποιότητα της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας εντός των διχτυοκηπίων, λόγω διαφορετικού χρώματος των διχτύων τους. Η συνολική ξηρά ουσία προέκυψε από το άθροισμα των ξηρών βαρών των βλαστών των φύλλων και των παρόντων, κατά την ημέρα της καταστροφικής μέτρησης, καρπών (Διάγραμμα 5.).



Διάγραμμα 4. Εξέλιξη του ύψους των φυτών εντός των διχτυοκηπίων και στον ανοικτό αγρό για την καλλιεργητική περίοδο Ιούνιος - Οκτώβριος 2012.

Η συνολική ξηρά ουσία δεν παρουσίασε στατιστικώς σημαντικές διαφορές ανάμεσα σε όλες τις μεταχειρίσεις του πειράματος. Παρόμοιες πορείες παρουσίασαν οι εξελίξεις των ξηρών βαρών των επιμέρους οργάνων των φυτών (φύλλα, βλαστοί και καρποί), εκτός από την εξέλιξη του ξηρού βάρους των καρπών των φυτών εντός του $IP_{13\%}$, που ήταν ιδιαίτερα αυξημένο κατά την DAT 120, το οποίο θα μπορούσε να αποδοθεί στον αυξημένο αριθμό, σχεδόν ώριμων για συγκομιδή, καρπών που είχαν τα φυτά την συγκεκριμένη ημέρα της καταστροφικής μέτρησης.



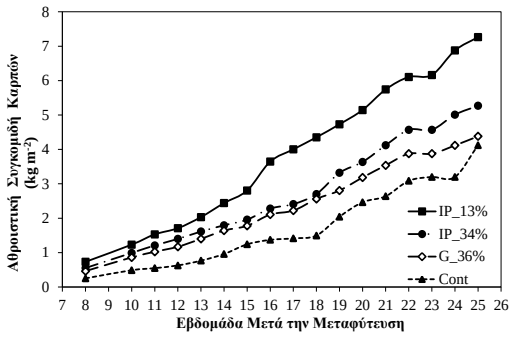
Διάγραμμα 5. Εξέλιξη της συνολικής παραχθείσας ξηράς ουσίας των φυτών εντός των διχτυοκηπίων και του ανοικτού αγρού κατά τη διάρκεια της πειραματικής περιόδου 2012.

3.3.2 Παραγωγή & Ποιότητα Καρπών

Η συνολική αθροιστική παραγωγή καρπών προέκυψε από το άθροισμα των συγκομιδών όλων των φυτών των τριών εσωτερικών διπλών γραμμών φύτευσης του πειραματικού αγρού κάθε μεταχείρισης. Οι εξωτερικές διπλές γραμμές εξαιρέθηκαν ώστε να αποκλειστεί το σφάλμα του περιθωρίου. Οι συνολική παραγωγή καρπών ήταν: 7.3, 5.3, 4.4 και 4.1 kg m^{-2} για τα φυτά των διχτυοκηπίων $IP_{13\%}$, $IP_{34\%}$, $G_{36\%}$ και εκείνα του ανοικτού αγρού, αντίστοιχα (Διάγραμμα 6). Οι Kittas et al. (2012) μελέτησαν την επίδραση τριών διαφορετικών επιπέδων σκίασης (34%, 40% και 49%) στην παραγωγή καλλιέργεια τομάτας στη Θεσσαλία και βρήκαν ότι η σκίαση αύξησε, σε σχέση με τον ανοικτό αγρό, την συνολική παραγωγή

κατά 43%, χωρίς όμως να παρατηρηθούν διαφορές ανάμεσα στα διαφορετικά επίπεδα σκίασης. Η αύξηση είναι παρεμφερής με εκείνη της περίπτωσης του $IP_{34\%}$ (30%), αλλά διαφέρει από εκείνη του $G_{36\%}$ (7%), γεγονός που πιθανόν να μπορεί να αποδοθεί στη διαφορά της ποιότητας της ακτινοβολίας των διχτυων των δυο πειραμάτων. Επιπλέον, φαίνεται ότι η εφαρμογή σκίασης ≈ 20%, (διχτυοκήπιο $IP_{13\%}$) έχει ακόμη μεγαλύτερη θετική επίδραση επί της καλλιέργειας απ' ότι η σκίαση ≈ 35%.

Οι καρποί των φυτών εντός των διχτυοκηπίων ήταν μεγαλύτερου μεγέθους σε σχέση με εκείνους των φυτών του μάρτυρα, δείκτης που υποδηλώνει ποιοτική υπεροχή των καρπών των φυτών υπό κάλυψη (Πίνακας 2). Από την συνολική παραγωγή αφαιρέθηκε εκείνο το ποσοστό των καρπών που παρουσίασαν ελαττώματα. Το σύνολο της παραγωγής που ήταν καθαρό από φυσιολογικές ανωμαλίες (ηλιακά εγκαύματα και BER) και από προσβολές από θρίπες αποτελεί την εμπορεύσιμη παραγωγή η οποία ήταν περίπου 90% επί της συνολικής παραγωγής για όλα τα διχτυοκήπια έναντι 60% του μάρτυρα. Ανάλογες παρατηρήσεις σχετικά με την ποιότητα των καρπών έκαναν και οι Kittas et al. (2012).



Διάγραμμα 6. Συνολική αθροιστική παραγωγή (χλωρό βάρος, kg m-2) εντός των διχτυοκηπίων και στον ανοικτό αγρό για την καλλιεργητική περίοδο Ιούνιος - Οκτώβριος 2012.

Πίνακας 2. Ποιότητα παραγωγής. Βάρος ανά καρπό (g) και εμπορεύσιμη παραγωγή εκφρασμένη ως ποσοστό % της συνολικής παραγωγής.

	Cont	*$IP_{13\%}$*	*$IP_{34\%}$*	*$G_{36\%}$*
Βάρος ανά καρπό (g)	84,3	94,5	104,4	100,6
Εμπορεύσιμη Παραγωγή (%)	63	92	87	88

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα δίχτυα μείωσαν τα επίπεδα της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας στο χώρο των διχτυοκηπίων, χωρίς όμως να επέλθει μεταβολή στην θερμοκρασία και το έλλειμμα κορεσμού υδρατμών του αέρα εντός των κατασκευών. Ωστόσο, η παρουσία των διχτυών επέδρασε θετικά τόσο στην διαφορά θερμοκρασίας καλλιέργειας-αέρα, όσο και στο έλλειμμα κορεσμού υδρατμών καλλιέργειας-αέρα, γεγονός που υποδεικνύει βελτιωμένο μικροκλίμα εντός των διχτυοκηπίων. Η συνολική, αλλά και η εμπορεύσιμη παραγωγή ήταν σημαντικά αυξημένες για τις καλλιέργειες εντός των διχτυοκηπίων. Επιπλέον, βελτιώθηκε σημαντικά η ποιότητα των παραγόμενων καρπών, τόσο σε σχέση με το μέγεθός τους όσο και με την απουσία φυσιολογικών ανωμαλιών και προσβολών από έντομα.

Ευχαριστίες

Η παρούσα έρευνα έχει συγχρηματοδοτηθεί από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο - ΕΚΤ) και από εθνικούς πόρους μέσω του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» του Εθνικού Στρατηγικού Πλαισίου Αναφοράς (ΕΣΠΑ) - Ερευνητικό Χρηματοδοτούμενο Έργο: Ηράκλειτος ΙΙ. Επένδυση στην κοινωνία της γνώσης μέσω του Ευρωπαϊκού Κοινωνικού Ταμείου. Οι συγγραφείς θα ήθελαν να ευχαριστήσουν την AGROPLAST® για την χορηγία των εντομοστεγανών διχτυών $IP_{13\%}$ και $IP_{34\%}$ και την Plantas S.A για τη χορηγία των σποροφύτων πιπεριάς.

Βιβλιογραφία

Vanthoor B.H.E., Stanghellini C., van Henten E.J., Visser P.H.B. 2011. A methodology for model-based greenhouse design: Part 1, a greenhouse climate model for a broad range of designs and climates, Biosyst. Engin., 110(4): 363-377.

Castellano, S., G.M. Scarascia, G. Russo, D. Briassoulis, A. Mistriotis, S. Hemming, and D. Waaijenberg. 2008. Plastic nets in agriculture: a general review of types and applications. Appl. Eng. Agric. 24:799-808

Kittas, C., Katsoulas, N., Rigakis, N., Bartzanas, T., Kitta, E. 2012. Effects on microclimate, crop production and quality of a tomato crop grown under shade nets. J. Hortic. Sci. Biot. 87(1): 7-12

Moller M. and Assouline S. 2007. Effects of a shading screen on microclimate and crop water requirements. Irrig. Sci. 25:171–181.

Katsoulas N., Rigakis N., Kitta E., and Baille A. 2012. Transpiration of α Sweet Pepper Crop Under Screenhouse Conditions. Acta Hortic. 957:91-97

Kittas C., Rigakis N., Katsoulas N. and Bartzanas T., 2009. Influence of shading screens on microclimate, growth and productivity of tomato. Acta Hort. 807:97-102.

Romacho I., Hita O., Soriano T., Morales M.I., Escobar I., Suarez-Rey E.M., Hernandez J. and Castilla N. (2006). The growth and yield of cherry tomatoes in net covered greenhouses. Acta Hortic. 719, 529-534.

Shahak, Y., 2008. Photoselective netting for improved performance of horticultural crops. A review of ornamental and vegetable studies carried in Israel. Acta Hort. 770, 161-16.

ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ ΑΠΟ ΚΤΗΝΟΤΡΟΦΙΚΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ

Σωτήριος Δ. Καλαμάρας[1], Χρήστος Δ. Μανδρούκας[1], Παναγιώτης Γ. Κούγιας[2], Θωμάς Α. Κωτσόπουλος[1] και Γεράσιμος Γ. Μαρτζόπουλος[1]

[1] Τομέας Εγγείων Βελτιώσεων, Εδαφολογίας και Γεωργικής Μηχανικής , Γεωπονική Σχολή, , Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Πανεπιστημιούπολη Θεσσαλονίκης, Τ.Κ. 54124.,

[2] Department of Environmental Engineering, Technical University of Denmark, Miljøvej Bld. 113, 2800 Kgs. Lyngby, Denmark

Ο τελευταίος νόμος για τις Α.Π.Ε. 3851/2010, καθώς και οι υπουργικές αποφάσεις με αριθμό Υ.Α.Π.Ε./Φ1/2302/16934 και Υ.Α.Π.Ε./Φ1/2301/οικ.16933 δημιούργησαν νέα δεδομένα στον τομέα της ηλεκτροπαραγωγής από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Η ηλεκτρική ενέργεια που προέρχεται από τη καύση του βιοαερίου σε ένα σύστημα Συμπαραγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας (Σ.Η.Θ.), δείχνει πλέον να αποτελεί ελκυστική επένδυση. Επιπλέον, το υπόλειμμα, που αποτελεί τελικό προϊόν της αναερόβιας επεξεργασίας των αποβλήτων, δύναται να χρησιμοποιηθεί ως εδαφοβελτιωτικό, προάγοντας την αειφορική γεωργία, τόσο σε οικονομικό, όσο και σε περιβαλλοντικό επίπεδο. Στην εργασία αυτή, υπολογίστηκε το δυναμικό παραγωγής του βιοαερίου, από το σύνολο των ζωικών αποβλήτων, που παράγονται στις κτηνοτροφικές μονάδες της περιφερειακής ενότητας Καρδίτσας. Ερευνήθηκε, η δυνατότητα εγκατάστασης μονάδος επεξεργασίας του συνόλου των κτηνοτροφικών αποβλήτων που παράγεται στη περιφερειακή ενότητα Καρδίτσας, με σκοπό την παραγωγή βιοαερίου και την μετατροπή του, σε ηλεκτρική και θερμική ενέργεια. Επίσης, μελετήθηκαν τα οικονομικά οφέλη που προκύπτουν από την παραγωγή της ηλεκτρικής και της θερμικής ενέργειας της μονάδος παραγωγής βιοαερίου. Τέλος, με την παρούσα μελέτη, εξασφαλίζεται μία βιώσιμη και σύγχρονη λύση για τους κτηνοτρόφους που δραστηριοποιούνται στη περιφερειακή ενότητα Καρδίτσας, προωθώντας την αύξηση του ζωικού κεφαλαίου στις υφιστάμενες κτηνοτροφικές μονάδες και δίνει επιπλέον κίνητρα για νέες επενδύσεις στον κτηνοτροφικό και αγροτικό τομέα.

Λέξεις κλειδιά: ζωικά απόβλητα, αναερόβια χώνευση, βιοαέριο, ηλεκτρική και θερμική ενέργεια

BIOGAS PRODUCTION POTENTIAL FROM ANIMAL WASTES IN REGIONAL UNIT OF KARDITSA

Sotirios D. Kalamaras[1], Christos D. Mandroukas[1], Panagiotis G. Kougias[2], Thomas A. Kotsopoulos[1] and Gerasimos G. Martzopoulos[1]

[1]Departure of Hydraulics, Soil Science and Agricultural Engineering, School of Agriculture, Aristotle University Of Thessaloniki, University Campus, GR-54124, Thessaloniki, Greece

[2]Department of Environmental Engineering, Technical University of Denmark, Miljøvej Bld. 113, 2800 Kgs. Lyngby, Denmark

skalamaras@agro.auth.gr, xristosman@windowslive.com, panak@env.dtu.dk

mkotsop@agro.auth.gr, martzopo@agro.auth.gr

The last law on RES 3851/2010 and the ministerial decisions No. Y.A.P.E./F1/2302/16934 and Y.A.P.E./F1/2301/16933 created new standards in the field of electricity production from renewable energy sources. Electric power produced by biogas combustion in a system of Combined Heat and Power (C.H.P.) seems to be an attractive investment. The residue, which is one of the final products of the anaerobic waste treatment, can be used as fertilizer, promoting sustainable agriculture in economically and in environmental terms. In this work, the biogas potential of animal wastes obtained by all farms in the regional unit of Karditsa was calculated. Moreover, the possibility of installing a biogas plant, which will utilise all livestock waste produced in the regional unit of Karditsa, in order to produce biogas and convert it to electricity and to thermal energy, was investigated. The economic benefits resulting from the electricity and thermal energy production of the biogas plant were also presented. Finally, this study ensures a sustainable and modern solution for farmers of the regional Karditsa unit, which promotes the existing farms to increase herd size and provides additional incentives for new investments in the livestock and agriculture sector.

Key words: animal wastes, anaerobic digestion, biogas potential, electric and thermal energy

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα γεωργικά και ζωικά απόβλητα κατά-λαμβάνουν ένα μεγάλο ποσοστό της παραγόμενης βιομάζας στην Ελλάδα και μπορούν με τη μορφή των πρώτων υλών, να διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο στην τεχνολογία παραγωγής ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας (Skoulou and Zabaniotou, 2007). Η συνεχής ρύπανση από την παραγωγή των ζωικών αποβλήτων κατά όλη τη διάρκεια του χρόνου, αλλά και η αυξανόμενη ζήτηση σε ηλεκτρική και θερμική ενέργεια, αποτελούν δυο σημαντικά ζητήματα προς επίλυση. Η τεχνολογία του βιοαερίου, με κύρια

χαρακτηριστικά της, τη συνεχή επεξεργασία των αποβλήτων και τη σταθερή παραγωγή ενέργειας, μπορεί να αποτελέσει συνδυαστική λύση, για τα προαναφερθέντα ζητήματα. Η παραγωγή του βιοαερίου οφείλεται στην αναερόβια επεξεργασία των αποβλήτων. Η αναερόβια επεξεργασία, είναι μια σύνθετη διαδικασία, κατά την οποία πραγματοποιείται αποικοδόμηση της οργανικής ουσίας, από αναερόβιους μικροοργανισμούς, απουσία οξυγόνου (Kotsopoulos et al, 2008). Η τεχνολογία του βιοαερίου επιλέχθηκε, διότι η αναερόβια επεξεργασία είναι μία από τις πιο κατάλληλες μεθόδους, για την επεξεργασία των αποβλήτων που περιέχουν υψηλή συγκέντρωση οργανικού άνθρακα (C).

Στην περιφερειακή ενότητα Καρδίτσας, που βρίσκεται στο νοτιοδυτικό άκρο της Θεσσαλίας, εκτρέφονται κυρίως αιγοπρόβατα, βοοειδή και χοίροι. Η εντατικής μορφής κτηνοτροφικές μονάδες παρουσιάζουν πλεονεκτήματα ως προς την τεχνολογία του βιοαερίου. Στην εντατική κτηνοτροφία τα εκτρεφόμενα ζώα, παραμένουν το μεγαλύτερο χρονικό διάστημα στο εσωτερικό των κτηνοτροφικών εγκαταστάσεων, καθιστώντας δυνατή και ευκολότερη την συλλογή των αποβλήτων, σε αντίθεση με την εκτατική μορφή, όπου τα ζώα τρέφονται και παραμένουν εκτός των κτηνοτροφικών εγκαταστάσεων για περισσότερο χρόνο. Στην περιοχή της Καρδίτσας, τα ζώα που εκτρέφονται εντατικά, είναι τα βοοειδή, οι χοίροι και ελάχιστα τα αιγοπρόβατα.

Σκοπός της εργασίας, είναι να εκτιμήσει το δυναμικό παραγωγής του βιοαερίου των ζωικών αποβλήτων που παράγονται στην περιφερειακή ενότητα Καρδίτσας, όπως και τη δυνατότητα δημιουργίας μονάδος βιοαερίου. Περαιτέρω, γίνεται αναφορά στην υφιστάμενη κατάσταση του πληθυσμού και το είδος του ζωικού κεφαλαίου της Καρδίτσας που μπορεί να συσχετισθεί με την τεχνολογία του βιοαερίου, καθώς επίσης υπολογίζεται και η ημερησία παραγωγή των ζωικών αποβλήτων. Επίσης, θα μελετηθούν προτάσεις για την εκμετάλλευση της ενέργειας που προκύπτει από το σύστημα Σ.Η.Θ., υπολογίζονται τα έσοδα από την πώληση ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς και η περιεκτικότητα σε άζωτο (N), φώσφορο (P) και κάλιο (K) του παραγόμενου εδαφοβελτιωτικού.

2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Η παρούσα έρευνα βασίστηκε σε δεδομένα που αφορούν τον πληθυσμό του ζωικού κεφαλαίου της περιφερειακής ενότητας Καρδίτσας, τις ποσότητες και τη διαθεσιμότητα των ζωικών αποβλήτων που παράγονται, την τεχνολογία αναερόβιας επεξεργασίας της βιομάζας σε βιοαέριο, τις αποδόσεις μετατροπής του βιοαερίου σε ενέργεια και την εθνική νομοθεσία περί της επεξεργασίας των ζωικών αποβλήτων και τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Τα παραπάνω δεδομένα χρησιμοποιήθηκαν, για τη σύνταξη ολοκληρωμένου σχεδίου επεξεργασίας των ζωικών αποβλήτων των κτηνοτροφικών μονάδων της περιοχής, τη μετατροπή τους σε ωφέλιμη ενέργεια και την παραγωγή εδαφοβελτιωτικού.

Συγκεκριμένα, αντλήθηκαν δεδομένα και έγιναν συνεντεύξεις με υπευθύνους υπηρεσιών, σχετικών με το ζωικό κεφάλαιο και την παραγωγή αποβλήτων, όπως το τμήμα Αγροτικής Στατιστικής του Υπουργείου Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων και τη Διεύθυνση Γεωργίας Καρδίτσας.

Η καταμέτρηση του ζωικού κεφαλαίου, αλλά και ο αριθμός των ενεργών κτηνοτρόφων πραγματοποιήθηκε με στοιχεία που αντλήθηκαν από τους επίσημους καταλόγους της κεντρικής Κτηνιατρικής υπηρεσίας Καρδίτσας και των παραρτημάτων της, στην περιφερειακή ενότητα Καρδίτσας, για το έτος 2011. Οι κτηνοτροφικές μονάδες βοοειδών μικτής κατεύθυνσης, συνυπολογίστηκαν ως κρεατοπαραγωγικές. Ο υπολογισμός του πληθυσμού των χοίρων, πρέπει να συμπεριλαμβάνει τον αριθμό των χοιρομητέρων των κάπρων, των χοιριδίων και των παχυνόμενων χοίρων. Ο αριθμός των χοιρομητέρων και των κάπρων, αντλήθηκε από στοιχεία της Κτηνιατρικής Υπηρεσίας Καρδίτσας. Κάθε χοιρομητέρα μπορεί να παράγει σε κάθε γέννα από 8 έως 16 χοιρίδια. Ωστόσο, ο αριθμός των χοιριδίων που επιβιώνει, υπό της ελληνικές συνθήκες, είναι συνήθως 10 και έγινε παραδοχή, ότι γίνονται περίπου 2 γέννες το χρόνο και επίσης ότι, για κάθε χοιρομητέρα αντιστοιχούν 5 χοιρίδια απογαλακτισμού (χοιρίδια) 7,5-30 κιλών και 5 παχυνόμενοι χοίροι 30-100 κιλών.

Πίνακας 1: Μέσος όρος βάρους βοοειδών και χοίρων σε κιλά, καθώς και ζωικά απόβλητα, ολικά στερεά (TS) και πτητικά στερεά (VS) σε κιλά, που παράγονται ημερησίως ανά 1.000 κιλά ζώντος βάρους.

Είδος Ζώου	[1]Μ.Ο Βάρους (kg)	[2]Απόβλητα (kg)	[2]TS (kg)	[2]VS (kg)
Βοοειδή				
Γαλακτ/γής				
≥ 12 μηνών	420	80.0	10.00	8.50
< 12 μηνών	180	85.0	9.14	7.77
Κρεατ/γης				
≥ 12 μηνών	520	59.1	6.78	6.04
< 12 μηνών	330	58.2	7.54	6.41
Χοίροι				
Χοιρομητέρες	200	27.2	2.50	2.13
Χοιρίδια	19	106.0	10.60	8.80
Παχυνόμενοι	65	63.4	6.34	5.40
Κάπροι	270	20.5	1.90	1.70

1: Πηγή: McDonald et al, 2011
2: Πηγή: USDA, 2009

Δεδομένα αντλήθηκαν, από τη διεθνή βιβλιογραφία, για το μέσο όρο βάρους των ζώων, τα απόβλητα που παράγουν ημερησίως και την περιεκτικότητά τους σε ολικά στερεά, πτητικά στερεά, N, P και K (Πίνακας 1 και 2). Ο υπολογισμός της ποσότητας των αποβλήτων που παράγεται ημερησίως από το συνολικό αριθμό των ζώων, για κάθε είδος, έγινε με βάσει τη σχέση:

Σύνολο αποβλήτων ανά είδος ζώου ανά ημέρα

(τόνοι) = Πληθυσμός ζώων x Μέσο όρο βάρους ζώου (τόνοι) x Ποσότητα αποβλήτων όπως εκκρίνονται, ανά ζώο, ανά ημέρα (τόνοι).

Πίνακας 2: Ποσότητα αζώτου (N) φωσφόρου (P) και καλίου (K) σε κιλά, που παράγονται ημερησίως ανά 1.000 κιλά ζώντος βάρους βοοειδών και χοίρων.

Είδος Ζώου	***N*** (kg)	***P*** (kg)	***K*** (kg)
Βοοειδή			
Γαλακτ/γής			
≥ 12 μηνών	0,45	0,07	0,26
< 12 μηνών	0,31	0,04	0,24
Κρεατ/γης			
≥ 12 μηνών	0,31	0,11	0,24
< 12 μηνών	0,30	0,10	0,20
Χοίροι			
Χοιρομητέρες	0,19	0,06	0,12
Χοιρίδια	0,60	0,25	0,35
Παχυνόμενοι	0,42	0,16	0,22
Κάπροι	0,15	0,05	0,10

Πηγή: USDA, 2009

Το δυναμικό παραγωγής σε μεθάνιο, υπολογίστηκε βάσει της ποσότητας σε πτητικά στερεά (VS) που περιέχονται στα ζωικά απόβλητα. Η ποσότητα του βιοαερίου υπολογίστηκε, θεωρώντας ότι η περιεκτικότητα του σε μεθάνιο, ανέρχεται σε 60% (Deublein et al, 2008).

Η ηλεκτρική και η θερμική ενέργεια που παράγεται από την καύση του βιοαερίου σε ένα σύστημα Σ.Η.Θ., υπολογίστηκε με βάσει, ότι η απόδοση του συστήματος σε ηλεκτρική και θερμική ενέργεια είναι 39,9% και 44% αντίστοιχα. Τέλος, ερευνήθηκε η καταλληλότητα των ζωικών αποβλήτων για χρήση τους, ως εδαφοβελτιωτικό, μετά την αναερόβια επεξεργασία τους. Ο υπολογισμός της περιεκτικότητας στο σύνολο των αποβλήτων που παράγεται ημερησίως από το συνολικό αριθμό ζώων, για κάθε είδος, σε N, P και K, έγινε με βάσει τη σχέση:

Ποσότητα του χημικού στοιχείου στο σύνολο των αποβλήτων του είδους ζώου = Πληθυσμός ζώων x Μέσο όρο βάρους ζώου (τόνοι) x Ποσότητα του χημικού στοιχείου, όπως εκκρίνεται ανά ζώο και ανά ημέρα στα απόβλητά του (τόνοι).

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

3.1 Ζωικό κεφάλαιο

Στην περιφερειακή ενότητα Καρδίτσας, οι περισσότεροι κτηνοτρόφοι, εφαρμόζουν την εκτατική μορφής κτηνοτροφία και ασχολούνται κυρίως, με την εκτροφή των αιγοπροβάτων. Τα βοοειδή αποτελούν το τρίτο οικόσιτο ζώο προτίμησης των κτηνοτρόφων με τα βοοειδή κρεατ/γης να αποτελούν το 88,7% του συνόλου των βοοειδών του νομού. Συγκεκριμένα, το σύνολο των βοοειδών αριθμεί 7.408 κεφάλια ενώ το σύνολο το χοιρομητέρων και κάπρων αριθμεί 2.920 κεφάλια. Η εκτροφή των χοίρων, κατά το μεγαλύτερο ποσοστό, πραγματοποιείται σε σταβλικές εγκαταστάσεις, με τις περισσότερες κτηνοτροφικές μονάδες να βρίσκονται σε κοντινές αποστάσεις μεταξύ των και να τοποθετούνται κυρίως στο βορειοδυτικό και βορειοανατολικό άκρο του νομού. Από τα στοιχεία που πάρθηκαν από την Κτηνιατρική Υπηρεσία Καρδίτσας, παρατηρείται στη χοιροτροφία, το μεγαλύτερο ποσοστό των κτηνοτροφικών εκμεταλλεύσεων, να είναι εντατικής μορφής, γεγονός που διευκολύνει τη συγκέντρωση και διαχείριση των αποβλήτων. Άνω του 50% του πληθυσμού των χοιρομητέρων συγκεντρώνεται σε 7 κτηνοτροφικές μονάδες, ενώ στα βοοειδή, μόλις το 14% του πληθυσμού συγκεντρώνεται σε 14 κτηνοτροφικές μονάδες με περισσότερα από 100 κεφάλια.

3.2 Ζωικά απόβλητα

Ο μεγαλύτερος όγκος των αποβλήτων που παράγονται στις σταβλικές εγκαταστάσεις, στην περιφερειακή ενότητα Καρδίτσας, οφείλεται στον πληθυσμό των βοοειδών κρεατ/γης. Ο όγκος αποβλήτων των βοοειδών κρεατ/γης είναι σχεδόν επτά φορές μεγαλύτερος από τον όγκο αποβλήτων των βοοειδών γαλ/γης και σχεδόν διπλάσιος από τον όγκο αποβλήτων των χοίρων (Πίνακας 3).

Πίνακας 3: Απόβλητα βοοειδών και χοίρων της περιφερειακής ενότητας Καρδίτσας.

Είδος ζώου	**Πληθυσμός**	**Συνολικό βάρος ζώων tn**	**Απόβλητα ανά ημέρα tn**
Βοοειδή			
Γαλ/γής			
≥ 12 μηνών	693	291	23,28
< 12 μηνών	141	25	2,16
Σύνολο	**834**	**316**	**25,44**
Κρεατ/γης			
≥ 12 μηνών	4.881	2.538	150,00
< 12 μηνών	1.693	559	32,52
Σύνολο	**6.574**	**3.097**	**182,52**
Χοίροι			
Χοιρομητέρες	2.775	555	15,10
Χοιρίδια	13.875	260	27,58
Παχυνόμενοι	13.875	902	57,18
Κάπροι	145	40	0,82
Σύνολο	**30.670**	**1.757**	**100,67**

Είναι αναγκαίο να επισημανθεί πως τα απόβλητα των βοοειδών, που προκύπτουν σε κανονικές συνθήκες στις κτηνοτροφικές εγκαταστάσεις, και στα συνήθη συστήματα σταβλισμού, αναμιγνύονται με υλικά όπως άχυρο, φλοιούς ρυζιού, ροκανίδια κ.α. που χρησιμοποιούνται ως στρωμνή, με αποτέλεσμα ο όγκος των αποβλήτων που προκύπτει τελικά, να είναι μεγαλύτερος από αυτόν που παράγεται όπως εκκρίνεται από τα βοοειδή. Επίσης, στα συνήθη συστήματα σταβλισμού των χοιροτροφικών εγκαταστάσεων, ο τύπος δαπέδου που χρησιμοποιείται είναι σχαρωτός, με αποτέλεσμα την αύξηση του τελικού όγκου των αποβλήτων, λόγω ότι

προστίθενται και οι απαραίτητες ποσότητες νερών πλύσης, για την απομάκρυνση των αποβλήτων από την κτηνοτροφική εκμετάλλευση.

3.3 Δυναμικό παραγωγής βιοαερίου

Το βιοαέριο είναι ένα μίγμα αερίων που αποτελείται κυρίως από μεθάνιο (CH_4) και διοξείδιο του άνθρακα (CO_2). Η ενέργεια που προκύπτει από την καύση του βιοαερίου, οφείλεται στην περιεκτικότητά του σε CH_4. Η ειδική παραγωγή μεθανίου, από τις αγελάδες γαλ/γης είναι 190 λίτρα ανά κιλό VS, για τους παχυνόμενους χοίρους και τις χοιρομητέρες 350 και 270 λίτρα αντίστοιχα (Møller et al, 2004) και τέλος για τις αγελάδες κρεατ/γης 210 λίτρα (Hashimoto et al, 1981).

Γενικότερα, τα ζωικά απόβλητα που προκύπτουν από τα οικόσιτα ζώα, περιέχουν τα σημαντικά μικρό και μακροστοιχεία για τη διαδικασία της αναερόβιας αποικοδόμησης. Οι ποσότητες CH_4 και βιοαερίου που παράγονται από την αναερόβια αποικοδόμηση των αποβλήτων βοοειδών και χοίρων της περιφερειακής ενότητας Καρδίτσας και παρουσιάζονται στον Πίνακα 4, αφορούν δεδομένα που προκύπτουν σε εργαστηριακές συνθήκες.

Πίνακας 4: Ολικά και πτητικά στερεά επί τοις εκατό κατά βάρος, καθώς και παραγωγή μεθανίου και βιοαερίου σε κυβικά ανά ημέρα από τα κτηνοτροφικά απόβλητα της περιφερειακής ενότητας Καρδίτσας.

Είδος Ζώου	***[1]TS %***	***[2]VS %***	***CH_4*** (m^3/d)	**Βιοαέριο** (m^3/d)
Βοοειδή				
Γαλ/γής				
≥ 12 μηνών	12,5	85,0	470	783
< 12 μηνών	10,7	72,6	32	53
Σύνολο			**502**	**836**
Κρεατ/γης				
≥ 12 μηνών	11,6	89,1	3.255	5.425
< 12 μηνών	13,0	85,0	755	1.258
Σύνολο			**4.010**	**6.683**
Χοίροι				
Χοιρομητέρες	9,2	85,2	319,5	532,5
Χοιρίδια	10,0	83,0	801,3	1.335,5
Παχυνόμενοι	10,0	85,2	1.704,5	2.840,9
Κάπροι	9,3	89,5	23,8	39,7
Σύνολο			**2.849**	**4.748**
Σύνολο		**33,292**	**7.361**	**12.267**

3.4 Παραγωγή ενέργειας και ποσότητες λιπαντικών στοιχείων εδαφοβελτιωτικού

Το ενεργειακό περιεχόμενο του βιοαερίου υπολογίστηκε με βάσει το CH_4 και σύμφωνα με τη σχέση ότι 1m^3 CH_4 παράγει 9,94 kWh (Ekinci et al, 2010). Το σύνολο της ενέργειας που εξάγεται από ένα σύστημα Σ.Η.Θ., όταν διοχετεύσουμε σ' αυτό την ποσότητα του βιοαερίου που παράγεται ημερησίως, μέσω αναερόβιας επεξεργασίας από τα κτηνοτροφικά απόβλητα, ισούται με 73,2 MWh. Από τη συνολική ενέργεια που παράγεται ημερησίως, το 39,9% αντιστοιχεί σε ηλεκτρική ενέργεια και είναι ίση με 29,2 MWh_{el} ενώ το 44% αντιστοιχεί σε θερμική ενέργεια που ισούται με 32,2 MWh_{th}. Η ηλεκτρική ισχύς του συστήματος Σ.Η.Θ. που μπορεί να εγκατασταθεί στην περιφερειακή ενότητα Καρδίτσας, είναι ίση με 1,22 MW_{el}. Οι απώλειες σε ενέργεια από το σύστημα ΣΗΘ, που οφείλονται σε απώλειες θερμότητας, ανέρχονται στις 11.780 kWh ανά ημέρα.

Τα ζωικά απόβλητα, έπειτα από την αναερόβια επεξεργασία, έχουν σταθεροποιηθεί σε μεγάλο βαθμό και είναι πλούσια σε λιπαντικά στοιχεία (N, P, K) (Tambone et al, 2010). Οι ποσότητες των λιπαντικών στοιχειών, που περιέχονται στα κτηνοτροφικά απόβλητα, που παράγονται στην περιφερειακή ενότητα Καρδίτσας, παρουσιάζονται αναλυτικά στον Πίνακα 5.

Πίνακας *5: Ποσότητες λιπαντικών στοιχείων σε κιλά, όπως αυτά εκκρίνονται ανά 1.000 κιλά ζώντος βάρους βοοειδών και χοίρων, της περιφερειακής ενότητας Καρδίτσας.*

Είδος ζώου	***N*** (kg)	***P*** (kg)	***K*** (kg)
Βοοειδή			
Γαλ/γής			
≥ 12 μηνών	131	20	76
< 12 μηνών	8	1	6
Σύνολο	**139**	**21**	**82**
Κρεατ/γης			
≥ 12 μηνών	787	279	609
< 12 μηνών	168	56	112
Σύνολο	**954**	**335**	**721**
Χοίροι			
Χοιρομητέρες	105	33	67
Χοιρίδια	156	65	91
Παχυνόμενοι	379	144	198
Κάπροι	6	2	4
Σύνολο	**646**	**245**	**360**
Σύνολο	**1.905**	**644**	**1.280**

4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Έχει βρεθεί, ότι όταν η C/N κυμαίνεται μεταξύ 25 και 32 έχει θετική επίδραση στην παραγωγή CH_4 (Hamzawi et al, 1998). Λόγω της υψηλής περιεκτικότητας των κτηνοτροφικών αποβλήτων σε NH_3-N, συνιστάται η ανάμιξη των αποβλήτων των χοίρων και των βοοειδών, όπου αυτό είναι εφικτό, με απόβλητα πλούσια σε οργανικό άνθρακα, για σταθερότητα της αναερόβιας επεξεργασίας και αύξηση της παραγωγής μεθανίου.

Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από την καύση του βιοαερίου, που προέρχεται από την αναερόβια αποικοδόμηση αγροτοβιομηχανικών αποβλήτων, σε σύστημα Σ.Η.Θ., τιμολογείται με 220€/MWh (Ν3851/2010), όταν η εγκατεστημένη ηλεκτρική ισχύς είναι μικρότερη των 3 MW, και η σύμβαση έχει χρονικό ορίζοντα τα 20 έτη με δυνατότητα ανανέωσης, ενώ σε περίπτωση που δεν χρησι-

μοποιείται δημόσια επιχορήγηση για την επένδυση, η τιμή αυτή αυξάνεται κατά 15%. Τα ετήσια έσοδα από την πώληση της ηλεκτρικής ενέργειας, της μονάδος βιοαερίου στην περιοχή της Καρδίτσας, χωρίς επιδότηση από το Ελληνικό κράτος, θα είναι σύμφωνα με τα παραπάνω, ίση με 2.437.395 € και αποτελεί μια ελκυστική επένδυση με πολλά περιβαλλοντικά οφέλη.

Η θερμική ενέργεια που παράγεται από το σύστημα ΣΗΘ, δύναται να διοχετευθεί σε υφιστάμενες επιχειρήσεις, εξοικονομώντας σημαντικούς πόρους, αλλά και να αποτελέσει γενεσιουργό δύναμη για νέες επενδύσεις. Η τεχνολογία της τηλεθέρμανσης, δίνει τη δυνατότητα μεταφοράς της θερμότητας από τη μονάδα βιοαερίου σε εγκαταστάσεις που έχουν μεγάλες ανάγκες σε θερμική ενέργεια και βρίσκονται στην περιφέρεια Καρδίτσας, όπως εκκοκκιστήρια βάμβακος, σφαγεία, βιομηχανίες τροφίμων, ξηραντήρια καπνού κ.α. Επιπλέον, η δημιουργία θερμοκηπίων πλησίον της μονάδος βιοαερίου, θα αποτελεί πλέον μια ελκυστική επένδυση. Το υψηλότερο κόστος αυτών των εγκαταστάσεων, αποτελεί η θέρμανσή τους και το κόστος αυτό έχει ανοδική τάση, λόγω του συνεχώς αυξανόμενου κόστους των ορυκτών καυσίμων. Συνεπώς, η χρήση της περίσσειας θερμικής ενέργειας της μονάδος βιοαερίου, μπορεί να μειώσει σημαντικά τα λειτουργικά κόστη του θερμοκηπίου.

Η χρήση του υγρού/στερεού υπολείμματος, μπορεί να αποτελέσει άριστο εδαφοβελτιωτικό αυξάνοντας την παραγωγή των καλλιεργειών, όπου εφαρμόζεται. Επίσης, η εμπορευματοποίηση του υπολείμματος με την ξήρανση του υγρού κλάσματος και τον ενσακισμό του στερεού υπολείμματος, μπορεί να αποτελέσει ένα επιπλέον έσοδο, για τη μονάδα βιοαερίου.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Οι ποσότητες των ζωικών αποβλήτων, αλλά και η ευκολία συλλογής τους, λόγω του μεγάλου αριθμού ζώων στις κτηνοτροφικές μονάδες εντατικής μορφής, καθιστούν δυνατή τη δημιουργία, στην περιφερειακή ενότητα Καρδίτσας, μονάδος βιοαερίου με πολλαπλά οικονομικά και περιβαλλοντικά οφέλη. Ωστόσο, το κόστος εγκατάστασης των μονάδων βιοαερίου είναι αρκετά υψηλό και είναι απαραίτητη, η δημιουργία επενδυτικών κινήτρων, ώστε να υπάρξει υλοποίηση των επενδυτικών σχεδίων που αφορούν το βιοαέριο. Η εφαρμογή φοροαπαλλακτικών μέτρων, θα αυξήσει τα ετήσια έσοδα, μειώνοντας το χρόνο απόσβεσης του υψηλού αρχικού κεφαλαίου επένδυσης. Παράλληλα στη νομοθεσία, είναι αναγκαία η διευκόλυνση λήψης των απαραίτητων αδειών , χωρίς ωστόσο να μειώνεται η επιβεβλημένη νομική ασφάλεια.

ΓΝΩΣΤΟΠΟΙΗΣΗ

This research paper has been conducted in the context of the GREEN-AgriChains project that is funded from the European Community's Seventh Framework Programme (FP7-REGPOT-2012-2013-1) under Grant Agreement No. 316167. All the above reflect only the authors' views; the European Union is not liable for any use that may be made of the information contained herein.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Περιοδικά

Ekinci, K., Kulcu, R., Kaya, D., Yaldız, O., Ertekin, C., Ozturk, H. 2010. The prospective of potential biogas plants that can utilize animal manure in Turkey. Energy, Exploration & Exploitation, 28(3), 187-206.

Hamzawi, N., Kennedy, K.J., McLean, D.D. 1998. Technical Feasibility of Anaerobic Co-Digestion of Sewage Sludge and Municipal Solid Waste. Environmental Technology, 19(10), 993-1003.

Hashimoto, A.G., Varel, V.H., Chen, Y.R. 1981. Ultimate methane yield from beef cattle manure: Effect of temperature, ration constituents, antibiotics and manure age. Agricultural Wastes, 3(4), 241-256.

Kotsopoulos, T.A., Karamanlis, X., Dotas, D., Martzopoulos, G.G. 2008. The impact of different natural zeolite concentrations on the methane production in thermophilic anaerobic digestion of pig waste. Biosystems Engineering, 99(1), 105-111.

Møller, H.B., Sommer, S.G., Ahring, B.K. 2004. Methane productivity of manure, straw and solid fractions of manure. Biomass and Bioenergy, 26(5), 485-495.

Skoulou, V., Zabaniotou, A. 2007. Investigation of agricultural and animal wastes in Greece and their allocation to potential application for energy production. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 11(8), 1698-1719.

Tambone, F., Scaglia, B., D'Imporzano, G., Schievano, A., Orzi, V., Salati, S., Adani, F. 2010. Assessing amendment and fertilizing properties of digestates from anaerobic digestion through a comparative study with digested sludge and compost. Chemosphere, 81(5), 577-583.

United States Department of Agriculture, 2009. eDirectives Part 651-Agricultural Waste Management Field Handbook. National Resources Conservation Service, 4:8-13.

Κεφάλαια βιβλίων

Deublein, D., Steinhauser, A., 2008. Biogas from Waste and Renewable Resources: An Introduction. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, pp. 49-52.

McDonald, P., Edwards, R.A., Greenhalgh, J.F.D., Morgan, C.A., Sinclair, L.A., Wilkinson, R.G., 2011. Animal Nutrition. 7th Edition, Prentice Hall, pp. 345-369.

ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΤΩΝ ΣΤΥΛΩΝ ΤΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΑΝΤΙΧΑΛΑΖΙΚΗΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Μενέλαος Θεοχάρης
Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών και Εγγειοβελτιωτικών Έργων, Τμήμα Φυτικής Παραγωγής, Τ.Ε.Ι. Ηπείρου, Κωστακιοί Άρτας, Τ.Κ. 47100 , e-mail: theoxar@teiep.gr.

Ο πιο αποτελεσματικός τρόπος αντιμετώπισης του χαλαζιού ως περιβαλλοντικού κινδύνου, είναι η προστασία των καλλιεργειών με την εγκατάσταση αντιχαλαζικών διχτυών. Τα τελευταία χρόνια η χρησιμοποίησή τους έχει πάρει μεγάλη ανάπτυξη, τόσο παγκόσμια όσο και στη χώρα μας. Κάθε εγκατάσταση αντιχαλαζικών διχτυών προϋποθέτει την ύπαρξη βασικής υποστύλωσης η οποία περιλαμβάνει τους στύλους και τα σύρματα στα οποία πρόκειται να αναρριχηθούν και να προσδεθούν τα φυτά. Μέχρι το 2012 δεν υπήρχαν στην Ελλάδα τεχνικές προδιαγραφές για την κατασκευή των στύλων της βασικής υποστύλωσης. Για το λόγο αυτό δεν ήτο δυνατόν να δημιουργηθούν εγχώριες βιομηχανίες κατασκευής τους και οι στύλοι ήταν είτε εισαγόμενοι είτε κατασκευαζότανε με ευθύνη των καλλιεργητών. Το 2012 ο ΕΛ.Γ.Α. με τη με αριθμ. 1/12-1-2012 απόφαση του Δ.Σ. του, ενέκρινε τη συγκρότηση ομάδας εργασίας για τη σύνταξη τεχνικών προδιαγραφών για τα συστήματα αντιχαλαζικής και αντιβροχικής προστασίας των καλλιεργειών. Η απόφαση αυτή εγκρίθηκε με τη με αριθμ. 4432/4-4-2012 (ΦΕΚ Υ.Ο. Δ. Δ. 198/17-4-2012) απόφαση του Προέδρου του ΕΛ.Γ.Α.. Στα πλαίσια των εργασιών της ομάδας εργασίας συντάχτηκε πρότυπη τεχνική μελέτη στην οποία πλην των άλλων περιλαμβάνεται και η στατική επίλυση των στύλων όταν είναι γνωστές οι δράσεις που ασκούνται σε αυτούς. Σε αυτό το άρθρο παρουσιάζεται ο αναλυτικός συστηματικός στατικός υπολογισμός των στύλων των εγκαταστάσεων αντιχαλαζικής προστασίας. Τα εντατικά μεγέθη που προκύπτουν από την επίλυση θα χρησιμοποιηθούν για τη διαστασιολόγηση των στύλων.

Λέξεις κλειδιά: χαλάζι, προστασία, στατικός υπολογισμός, φόρτιση, στύλος, ΕΛ.Γ.Α.

INTEGRATED STRUCTURAL DESIGN METHODOLOGY FOR THE COLUMNS OF THE ANTI-HAIL SYSTEMS IN GREECE

Menelaos Theocharis
Laboratory of Agricultural Constructions and land-improvement works, Department of Crop Production ,Technical Educational Institution of Epirus, 47100 Arta , Greece , e-mail: theoxar@teiep.gr.

The most effective way of protecting crops against hail as an environmental danger, is to cover plantations with anti-hail nets. This method of protection has expanded greatly recently both worldwide and in our county as well. For each structure of hail-nets, a basic supporting construction is required which includes the columns and the wires on which the plants have to climb and be supported. Until 2012 there were no technical specifications for that basic supporting construction in Greece. For this reason it was not possible for any domestic construction industries to create them, so the columns were either imported or constructed by farmers themselves. In 2012 the Hellenic Organization of Agricultural Insurances (EL.G.A.) established a working group for the specification of all the appropriate technical details for anti hail protection of crops using anti-hail nets. That working group produced a structural calculation study in which, except of others, the static calculation of the columns is included as long as the actions imposed on them are known. In this paper the systematic and analytical static calculation of the anti-hail systems columns is presented. The static actions which are produced will be subsequently used for the dimensioning of the columns.

Key words: hail, protection, anti-hail net, action, column, tree crop, EL.G.A.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η έλλειψη αναλυτικών τεχνικών προδιαγραφών για την κατασκευή των στύλων υποστήριξης των εγκαταστάσεων αντιχαλαζικής προστασίας είχε ως αποτέλεσμα την αδυναμία δημιουργίας σχετικών εγχώριων κατασκευαστικών βιομηχανιών ή βιοτεχνιών. Οι στύλοι κατασκευάζονταν από τους καλλιεργητές με εμπειρικούς τρόπους ή εισάγονταν από το εξωτερικό. Και στις δύο περιπτώσεις δεν ήτο δυνατός ο έλεγχος της αντοχής τους και ήταν αμφίβολη η στερεότητα της κατασκευής. Το πρόβλημα οξύνθηκε όταν συνέβησαν κάποιες αστοχίες σε εγκαταστάσεις αντιχαλαζικής προστασίας. Για το λόγο αυτό ο ΕΛ.Γ.Α. ανέλαβε το 2012 την πρωτοβουλία για τη σύνταξη εθνικών προδιαγραφών οι οποίες να βασίζονται στους ευρωκώδικες 1, 2, 3, 5. Στα πλαίσια των εργασιών της ομάδας εργασίας, που συγκροτήθηκε για το σκοπό αυτό, συντάχτηκε πρότυπη τεχνική μελέτη στην οποία πλην των άλλων περιλαμβάνεται και η στατική επίλυση των στύλων όταν είναι γνωστές οι δράσεις που ασκούνται σε αυτούς. Ο υπολογισμός των φορτίσεων των στύλων, που αποτελεί το πρώτο βήμα στη διαδικασία του σχεδιασμού, έγινε σε προηγούμενη μελέτη μας. Σε αυτό το άρθρο παρουσιάζεται μία συστηματική αναλυτική μεθοδολογία για το στατικό υπολογισμό των στύλων. Τα εντατικά μεγέθη που προκύπτουν από την επίλυση θα χρησιμοποιηθούν για τη διαστασιολόγηση των στύλων.

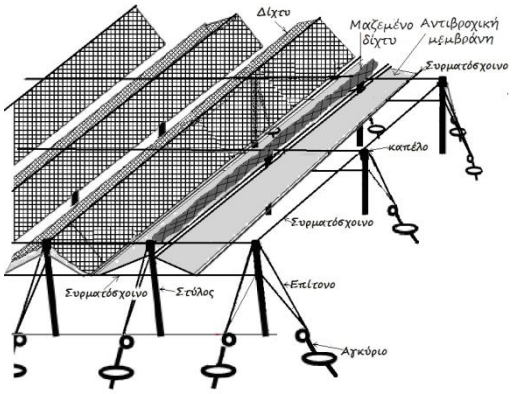
2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1. Η υποστύλωση της εγκατάστασης

Η υποστύλωση κάθε εγκατάστασης διχτυών αντιχαλαζικής προστασίας, περιλαμβάνει τους στύλους και τα σύρματα στα οποία πρόκειται να αναρριχηθούν και να προσδεθούν τα φυτά. Η υποστύλωση πρέπει να είναι ανεξάρτητη και να μην εμποδίζεται από κάθε άλλη κατασκευή που τυχόν θα υπάρχει μέσα στο χώρο προστασίας.

Οι αποστάσεις των στύλων επί της γραμμής , L, και οι αποστάσεις μεταξύ των γραμμών, C, καθορίζονται από το είδος της καλλιέργειας. Για τις δενδρώδεις καλλιέργειες είναι L / C=10,00 / 4,00 m.

Οι στύλοι μπορεί να είναι από οπλισμένο σκυρόδεμα (σιδηροπαγές ή προεντεταμένο) ή ξύλινοι ή μεταλλικοί. Πρέπει να είναι ευθυγραμμισμένοι, οι κορυφές τους να βρίσκονται σε οριζόντιο επίπεδο και να εξασφαλίζεται η στερεή έδρασή τους στο έδαφος. Το άνω άκρο τους πρέπει να καλύπτεται με κατάλληλο ειδικό πλαστικό κάλυμμα, το ‘‘καπέλο’’, το οποίο στερεώνει σε αυτούς τους τένοντες σύνδεσης. Στο σχήμα 1 δίνεται η ονοματολογία των εξαρτημάτων μιας εγκατάστασης αντιχαλαζικών διχτυών (ΕΛ.Γ.Α., 2012) .



Σχήμα 1. Ονοματολογία των εξαρτημάτων μιας τυπικής εγκατάστασης αντιχαλαζικών διχτυών.

Υπάρχουν δύο ειδών γραμμές στύλων, οι μεσαίες και ο οι ακραίες. Σε κάθε μία από αυτές υπάρχουν πάλι δύο ειδών στύλοι, οι ακραίοι και οι μεσαίοι. Κάθε μία από τις τέσσερες κατηγορίες στύλων έχει διαφορετικό τρόπο κατασκευής και υφίσταται διαφορετική καταπόνηση.

Ειδικότερα : α) Στις μεσαίες γραμμές: Οι ακραίοι στύλοι κατασκευάζονται κεκλιμένοι κατά την κατεύθυνση της γραμμής με γωνία ω, ενώ οι μεσαίοι είναι κατακόρυφοι, σχήμα 3. Όλοι οι στύλοι συνδέονται με συρματόσχοινο (τένοντα) στην κεφαλή τους το οποίο, αφού προενταθεί, αγκυρώνεται έξω από τα δύο άκρα της γραμμής στο έδαφος. Η αγκύρωση των ακραίων στύλων ενισχύεται με ένα ακόμη συρματόσχοινο, το οποίο προσδένεται σε απόσταση λ = 0,23C χαμηλότερα από την κεφαλή του στύλου, για την αντιμετώπιση του λυγισμού, σχήμα 3. β) Στις δύο ακραίες γραμμές οι μεσαίοι στύλοι κατασκευάζονται κεκλιμένοι κάθετα προς τη διεύθυνση της γραμμής με γωνία ω΄, σχήμα 7. Κάθετα στις γραμμές υπάρχει συρματόσχοινο σύνδεσης για να παραλαμβάνονται οι οριζόντιες δυνάμεις που ασκούνται στις κεφαλές των στύλων κάθετα στις γραμμές φύτευσης. γ) Σε κάθε μία από τις τέσσερες γωνίες, σχήμα 1, τοποθετούνται δύο στύλοι με δύο ανεξάρτητες αγκυρώσεις κεκλιμένοι, ο μεν ένας με γωνία ω κατά τον άξονα των γραμμών φύτευσης ο δε άλλος με γωνία ω΄ κάθετα στις γραμμές φύτευσης.

Οι φορτίσεις, που λαμβάνονται υπόψη για τον υπολογισμό των στύλων της αντιχαλαζικής προστασίας, (ΕΛ.Γ.Α., 2012), είναι η ανεμοφόρτιση (Θεοχάρης, Μ., 2000., 2012, Μ. Θεοχάρης κ. α., 2011) και η προένταση των τενόντων.

2. 2. Στατική επίλυση

2.2.1. Μεσαία Γραμμή

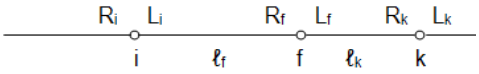
2.2.1.1. Ακραίοι στύλοι

2.2.1.1.1. Διεύθυνση x-x (άξονας της γραμμής)

Ο στύλος ΒΓΑ, σχήμα 3, ως φορέας είναι μονοπροέχουσα μονόπακτη δοκός με πάκτωση στο Β και στήριξη στο Γ μέσω της αντηρίδας ΓΔ. Είναι μία φορά υπερστατικός. Η επίλυσή του μπορεί να γίνει με διάφορες μεθόδους όπως: α) η μέθοδος Cross και η μέθοδος Kani, οι οποίες είναι μέθοδοι παραμορφώσεων (Beton Kalender,1984, τόμος 2, § 8, σελ. 315 έως 339), β) η μέθοδος του Castigliano η οποία ανήκει στις λεγόμενες ενεργειακές μεθόδους και γ) η μέθοδος του Clapeyron ή μέθοδος των τριών ροπών με την οποία επιλύονται συνεχείς υπερστατικές δοκοί. Στην συγκεκριμένη περίπτωση επιλέγεται να εφαρμοστεί η μέθοδος του Clapeyron ή εξίσωση των τριών ροπών, (Beton Kalender,1984, τόμος 2, § 10, σελ. 355 έως 388). Η εξίσωση Clapeyron για μία συνεχή δοκό με σταθερή διατομή σε όλο το μήκος της, σχήμα 2, στην τυχούσα στήριξη, f, έχει τη μορφή:

$$\ell_f M_i + 2(\ell_f + \ell_k)M_k + \ell_k M_k + \ell_f R_f + \ell_k L_f = 0 \quad (1)$$

όπου R_f είναι ο δεξιός φορτικός συντελεστής του ανοίγματος if και L_f είναι ο αριστερός φορτικός συντελεστής του ανοίγματος fk, σχήμα 2. Οι φορτικοί συντελεστές προκύπτουν από τον πίνακα 2.6 της § 2.6, σελ. 222 έως 227, του τόμου Β του Beton Kalender,1984.



Σχήμα 2. Συμβολισμοί της εξίσωσης Clapeyron

Η εξίσωση Clapeyron στην πάκτωση Β του σχήματος 3 είναι:

$$2.M_B.\ell_{B\Gamma} + M_\Gamma.\ell_{B\Gamma} = -\ell_{B\Gamma}.R_B - \ell_{B\Gamma}.L_B \quad (2)$$

Οι φορτικοί συντελεστές R_B και L_B καθώς και η ροπή M_Γ δίδονται από τις σχέσεις:

$$R_B = 0 \quad (3)$$

$$L_B = \frac{-g.\sigma\upsilon\nu\omega.\ell_{B\Gamma}^2}{4} \quad (4)$$

$$M_{\Gamma} = -Q_{A,T+w}.\ell_{A\Gamma} + g.\sigma\upsilon\nu\omega.\frac{\ell_{A\Gamma}^2}{2} \quad (5)$$

όπου:

$$\ell_{A\Gamma} = \frac{\lambda}{\eta\mu\omega} = \frac{0{,}23.C}{\eta\mu\omega} \quad (6)$$

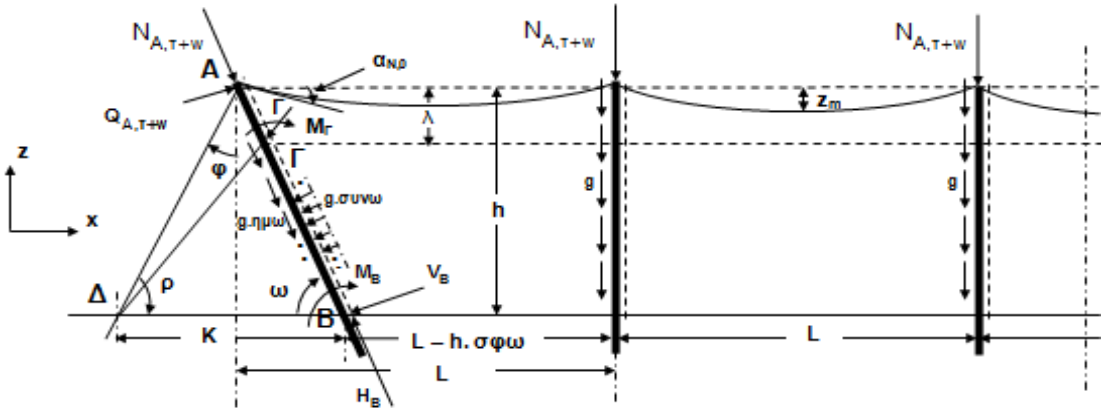
όπου C είναι η απόσταση των γραμμών φύτευσης.

Από τις σχέσεις (2), (3) και (4) προκύπτει:

$$M_B = -\frac{M_{\Gamma}}{2} + \frac{g.\sigma\upsilon\nu\omega.\ell_{B\Gamma}^2}{8} \quad (7)$$

όπου:

$$\ell_{B\Gamma} = \frac{h-\lambda}{\eta\mu\omega} \quad (8)$$



Σχήμα 3. Φόρτιση των στύλων των μεσαίων γραμμών κατά x-x

Οι τέμνουσες δυνάμεις, οι αντιδράσεις στηρίξεως και οι ροπές στα ανοίγματα, σχήμα 2, υπολογίζονται σύμφωνα με την §10.3 σελ. 362, του τόμου Β του Beton Kalender,1984, από τις σχέσεις:

$$Q_{ir} = Q_o + \frac{M_f + M_i}{\ell_f} \quad (9)$$

$$Q_{f\ell} = -Q_o + \frac{M_f + M_i}{\ell_f} \quad (10)$$

$$V_i = -Q_{i\ell} + Q_{ir} \quad (11)$$

$$V_f - Q_{f\ell} + Q_{fr} \quad (12)$$

$$M_{(x)} = M_{0(x)} + M_i.(1-\frac{x}{\ell_f}) + M_f.\frac{x}{\ell_f} \quad (13)$$

όπου Q_o και M_o είναι η τέμνουσα και η ροπή της απλής αμφιερείστου.

Άρα:

$$Q_{B\Gamma} = +\frac{-g.\sigma\upsilon\nu\omega.\ell_{B\Gamma}}{2} + \frac{M_{\Gamma}-M_B}{\ell_{B\Gamma}} \quad (14)$$

$$Q_{\Gamma B} = -\frac{-g.\sigma\upsilon\nu\omega.\ell_{B\Gamma}}{2} + \frac{M_{\Gamma}-M_B}{\ell_{B\Gamma}} \quad (15)$$

$$Q_{\Gamma A} = +\frac{-g.\sigma\upsilon\nu\omega.\ell_{\Gamma A}}{2} + \frac{0-M_{\Gamma}}{\ell_{\Gamma A}} \quad (16)$$

$$Q_{A\Gamma} = -\frac{-g.\sigma\upsilon\nu\omega.\ell_{\Gamma A}}{2} + \frac{0-M_{\Gamma}}{\ell_{\Gamma A}} = Q_{A,T+w} \quad (17)$$

$$V_B = +Q_{B\Gamma} \quad (18)$$

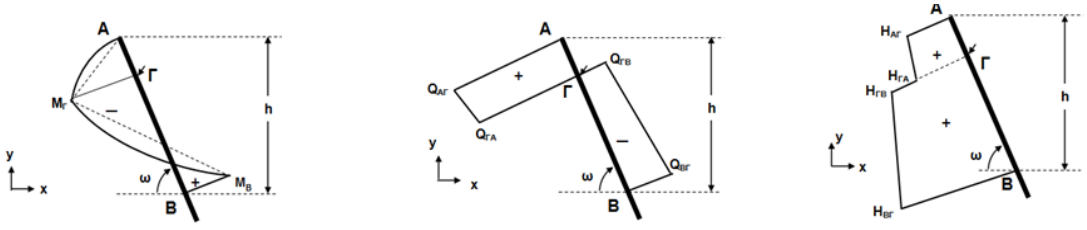
$$V_{\Gamma} = -Q_{\Gamma B} + Q_{\Gamma A} \quad (19)$$

$$\Gamma = \frac{V_{\Gamma}}{\eta\mu\hat{\Gamma}} \quad (20)$$

όπου:

$$\hat{\Gamma} = \tau\sigma\xi\eta\mu\frac{K.\eta\mu\omega}{\ell_{\Gamma\Delta}} = \tau\sigma\xi\eta\mu\frac{K.\eta\mu\omega}{(\ell_{B\Gamma}^2 + K^2 - 2.\ell_{B\Gamma}.K.\sigma\upsilon\nu\omega)^{0,5}} \quad (21)$$

$$M_B + \frac{g.x}{2}.(\ell + x) + (M_{\Gamma} - M_B).\frac{x}{\ell} \quad (22)$$



(M) (Q) (N)

Σχήμα 4. Τα διαγράμματα M , Q , N των ακραίων στύλων των μεσαίων γραμμών κατά x-x

Από την ισορροπία των αξονικών δυνάμεων προκύπτει:

$$H_B = N_{A,\tau+w} + \Gamma.\sigma\upsilon\nu\hat{\Gamma} + g.\eta\mu\omega.\ell_{AB} = N_{A,\tau+w} + \\ + \Gamma.\sigma\upsilon\nu\hat{\Gamma} + g.\eta\mu\omega.\frac{h}{\eta\mu\omega} = N_{A,\tau+w} + \Gamma.\sigma\upsilon\nu\hat{\Gamma} + g.h \quad (23)$$

οπότε και:

$$H_{\Gamma A} = N_{A,\tau+w} + g.\eta\mu\omega.\frac{\lambda}{\eta\mu\omega} = N_{A,\tau+w} + g.\lambda \quad (24)$$

$$H_{\Gamma B} = N_{A,\tau+w} + H_{\Gamma A} + \Gamma.\sigma\upsilon\nu\hat{\Gamma} \quad (25)$$

$$H_A = N_{A,\tau+w} \quad (26)$$

2.2.1.1.2. Διεύθυνση y-y (κάθετα στις γραμμές)

Κατά τη διεύθυνση y-y, σχήμα 5, ο στύλος ΒΓΑ μπορεί να θεωρηθεί πρόβολος με πάκτωση στο Β, επειδή θεωρήθηκε ελαστική στήριξη στον τένοντα τον κάθετο στη γραμμή φύτευσης.

Άρα:

Φορτίζονται στο Α με αξονική θλιπτική δύναμη $N_{A,\tau+w}$ και με τέμνουσα δύναμη $\pm Q_{A,w}$.

Άρα:

$$M_B = -Q_{A,w}\,\ell_{AB} \quad (27)$$

όπου:

$$\ell_{AB} = \frac{h}{\eta\mu\omega} \quad (28)$$

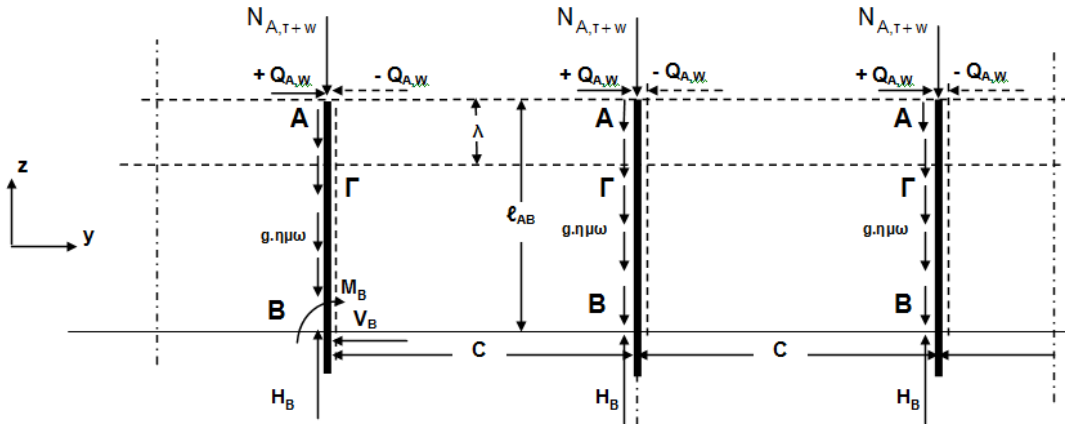
Επομένως:

$$Q_{BA} = +\frac{M_a - M_B}{\ell_{AB}} = -\frac{M_B}{\ell_{AB}} \quad (29)$$

$$V_B = +Q_{BA} \quad (30)$$

$$H_B = N_{A,\tau+w} + g.\eta\mu\omega.\ell_{AB} = \\ = N_{A,\tau+w} + g.\eta\mu\omega.\frac{h}{\eta\mu\omega} = N_{A,\tau+w} + g.h \quad (31)$$

$$H_A = N_{A,\tau+w} \quad (32)$$



Σχήμα 5. Φόρτιση των ακραίων στύλων των μεσαίων γραμμών κατά y-y

2.2.1.2 Μεσαίοι στύλοι

2.2.1.2.1. Διεύθυνση x-x (άξονας της γραμμής)

Οι μεσαίοι στύλοι της μεσαίας γραμμής κατά τη διεύθυνση x-x φορτίζονται μόνο με αξονική θλιπτική δύναμη $N_{A,\tau+w}$ όπως φαίνεται στο σχήμα 3. Οι στύλοι αυτοί, επομένως, καταπονούνται σε κεντρική θλίψη και λυγισμό. Για τα H_A και H_B ισχύουν οι σχέσεις (31) και (32).

2.2.1.2.2. Διεύθυνση y-y (κάθετα στις γραμμές)

Όπως και στην περίπτωση των ακραίων στύλων της μεσαίας γραμμής, κατά τη διεύθυνση y-y ο στύλος ΒΑ μπορεί να θεωρηθεί πρόβολος με πάκτωση στο Β επειδή θεωρήθηκε ελαστική στήριξη στον τένοντα τον κάθετο στη γραμμή φύτευσης. Φορτίζονται στο Α με αξονική θλιπτική δύναμη $N_{A,\tau+w}$ και με τέμνουσα δύναμη $\pm Q_{A,w}$.

Άρα :

$$M_B = -Q_{A,w}\,\ell_{AB} \quad (33)$$

$$Q_{BA} = +\frac{M_a - M_B}{\ell_{AB}} = -\frac{M_B}{h} \quad (34)$$

$$V_B = +Q_{BA} \quad (35)$$

$$H_B = N_{A,\tau+w} + g.h \quad (36)$$

$$H_A = N_{A,\tau+w} \quad (37)$$

όπου: $\ell_{AB} = h$ (38)

2.2.2. Ακραία Γραμμή

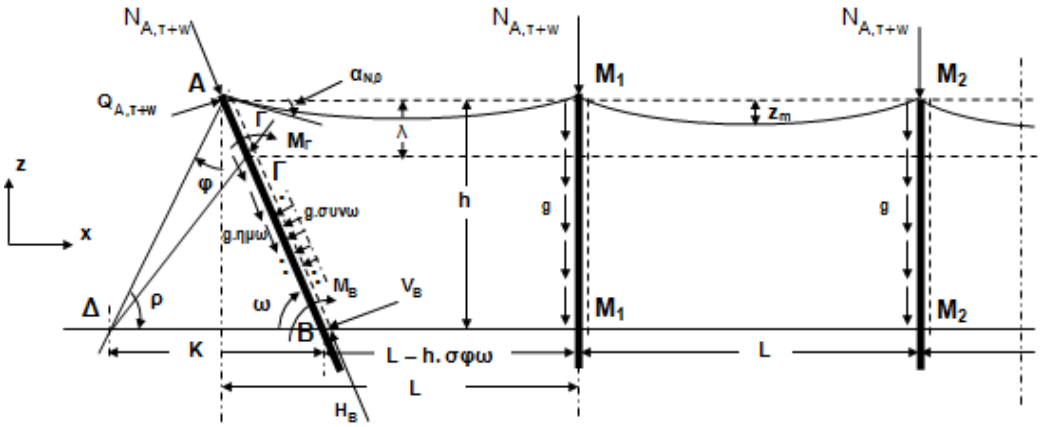
2.2.2.1. Μεσαίοι στύλοι

2.2.2.1.1. Διεύθυνση x-x (άξονας της γραμμής)

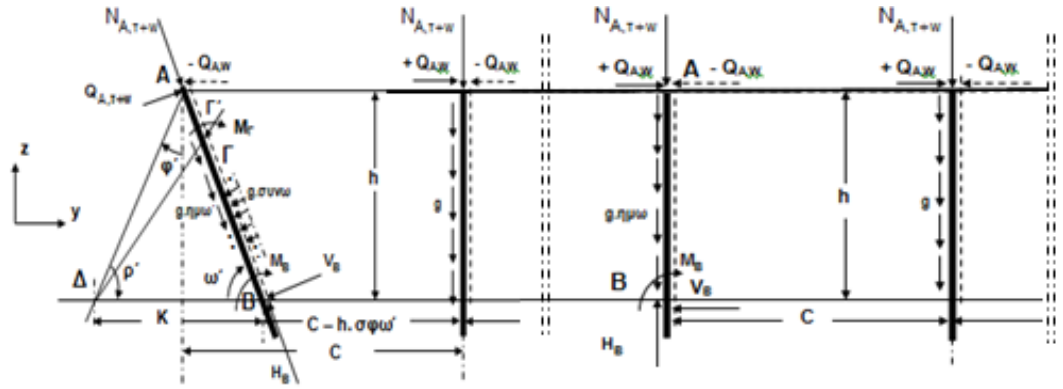
Οι μεσαίοι στύλοι M_1 - M_1 , M_2 - M_2 …. κατά τη διεύθυνση x-x , σχήμα 6, φορτίζονται μόνο με αξονική θλιπτική δύναμη $N_{A,\tau+w}$ όπως ακριβώς και οι μεσαίοι στύλοι της μεσαίας γραμμής. Οι στύλοι αυτοί επομένως καταπονούνται σε κεντρική θλίψη και λυγισμό.

2.2.2.1.2. Διεύθυνση y-y (κάθετα στις γραμμές)

Ο στύλος ΒΓΑ, σχήμα 7, ως φορέας είναι πακτωμένος στο Β και στηρίζεται στο Γ μέσω της αντηρίδας ΓΔ. Είναι κατασκευή παρόμοια με τον ακραίο στύλο της μεσαίας γραμμής, δηλαδή είναι μία φορά υπερστατικός και η επίλυσή του γίνεται με τη μέθοδο του Clapeyron.



Σχήμα 6. Φόρτιση στύλων των ακραίων γραμμών κατά x-x



Σχήμα 7. Φόρτιση στύλων των ακραίων γραμμών κατά y – y

Προκύπτουν τα ακόλουθα:

$$M_{\Gamma} = -Q_{A,T+w}.\ell_{A\Gamma} + g.\sigma\upsilon\nu\omega'.\frac{\ell_{A\Gamma}^2}{2} \quad (39)$$

όπου:

$$\ell_{A\Gamma} = \frac{\lambda}{\eta\mu\omega'} = \frac{0{,}23.C}{\eta\mu\omega'} \quad (40)$$

$$M_B = -\frac{M_{\Gamma}}{2} + \frac{g.\sigma\upsilon\nu\omega'.\ell_{B\Gamma}^2}{8} \quad (41)$$

όπου $\ell_{B\Gamma} = \frac{h-\lambda}{\eta\mu\omega'}$ (42)

$$Q_{B\Gamma} = +\frac{-g.\sigma\upsilon\nu\omega'.\ell_{B\Gamma}}{2} + \frac{M_{\Gamma}-M_B}{\ell_{B\Gamma}} \quad (43)$$

$$Q_{\Gamma B} = -\frac{-g.\sigma\upsilon\nu\omega'.\ell_{B\Gamma}}{2} + \frac{M_{\Gamma}-M_B}{\ell_{B\Gamma}} \quad (44)$$

οπότε:

$$\Gamma = \frac{V_{\Gamma}}{\eta\mu\hat{\Gamma}} \quad (45)$$

όπου:

$$\hat{\Gamma} = \tau\sigma\xi\eta\mu\frac{K.\eta\mu\omega'}{(\ell_{B\Gamma}^2 + K^2 - 2.\ \ell_{B\Gamma}.K.\sigma\upsilon\nu\omega')^{0,5}} \quad (46)$$

$$M_{(x)} = M_{0(x)} + M_B.(1-\frac{x}{\ell_{B\Gamma}}) + M_{\Gamma}.\frac{x}{\ell_{B\Gamma}} \quad (47)$$

$$H_B = N_{A,T+w} + \Gamma.\sigma\upsilon\nu\hat{\Gamma} + g.h \quad (48)$$

$$H_{\Gamma A} = N_{A,T+w} + g.\eta\mu\omega'.\frac{\lambda}{\eta\mu\omega'} = N_{A,T+w} + g.\lambda \quad (49)$$

$$H_{\Gamma B} = N_{A,T+w} + H_{\Gamma A} + \Gamma.\sigma\upsilon\nu\hat{\Gamma} \quad (50)$$

2.2.2.2. Ακραίοι στύλοι

Οι ακραίοι στύλοι της ακραίας γραμμής κατά μεν τη διεύθυνση x-x είναι ακριβώς ίδιοι με τους ακραίους στύλους των μεσαίων γραμμών κατά δε τη διεύθυνση y-y , σχήμα 7, είναι ακριβώς ίδιοι με τους μεσαίους στύλους των ακραίων γραμμών και φορτίζονται ακριβώς με τα ίδια φορτία.

3. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΙΣ ΔΕΝΔΡΩΔΕΙΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ

Θα γίνει εφαρμογή της διαδικασίας που περιγράφηκε για την περίπτωση προστασίας δενδρωδών καλλιεργειών στην ενδοχώρα σε εδάφη επικλινή με κλίσεις Φ < 5% για στύλους τετραγωνικής διατομής b/h=9,5/9,5 cm. Οι φορτίσεις που επιβάλλονται είναι οι προτεινόμενες από την ομάδα εργασίας του ΕΛ.Γ.Α. (Μ. Θεοχάρης, 2012, ΕΛ.Γ.Α., 2012). Οι σχέσεις υπολογισμού των εντατικών μεγεθών έχουν επιλυθεί με τη δημιουργία ενός υπολογιστικού φύλλου Excel και τα αποτελέσματα των υπολογισμών δίνονται στον επόμενο πίνακα 2.

Πίνακας 2. Τα εντατικά μεγέθη των στύλων για δενδρώδεις καλλιέργειες στην ενδοχώρα b/h=9,5/9,5 cm.

Μέγεθος	Μεσαίες γραμμές				Ακραίες γραμμές					
	Ακραίοι στύλοι		Μεσαίοι στύλοι		Ακραίοι στύλοι x-x		Ακραίοι στύλοι y-y		Μεσαίοι στύλοι	
	x-x	y-y	x-x	y-y	x-x	y-y	x-x	y-y	x-x	y-y
$M_Γ$ [Nm]	-2297,13				-2297,13			- 863,42		- 863,42
M_B [Nm]	1227,73	- 516,95		-7714,50	1227,73	-566,30		510,87		510,87
$Q_{BΓ}$ [N]	- 927,24	Q_{BA}= - 101,82		Q_{BA}= -1542,90	-927,24	Q_{BA}= -111,54		- 408,15		- 408,15
$Q_{ΓB}$ [N]	- 774,38				-774,38			- 255,29		- 255,29
$Q_{ΓA}$ [N]	2441,71				2441,71			907,01		907,01
$Q_{AΓ}$ [N]	2476,18				2476,18			941,48		941,48
V_B [N]	- 927,24	- 101,82		-1542,90	-927,24	-111,54		- 408,15		- 408,15
$V_Γ$ [N]	3216,09				3216,09			2585,71		2585,71
Γ [N]	7154,67				7154,67			13815,33		13815,33
H_B [N]	18740,99	12349,90	11505,58	11505,58	18740,99	12349,90	11505,58	10638,64	11505,58	10638,64
$H_{ΓA}$ [N]	11482,96				11482,96			12948,39		12948,39
$H_{ΓB}$ [N]	17874,05				17874,05			10638,64		10638,64
H_A [N]	11482,96	11287,47	10443,15	10443,15	11482,96	11287,47	10443,15	- 863,42	10443,15	- 863,42

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Αναπτύχθηκε ένας ολοκληρωμένος τρόπος στατικού υπολογισμού των στύλων των εγκαταστάσεων αντιχαλαζικής προστασίας στην Ελλάδα.

Οι σχέσεις υπολογισμού των εντατικών μεγεθών, που προέκυψαν από την επίλυση, είναι γενικές και μπορούν να εφαρμοστούν σε κατασκευές με οποιαδήποτε γεωμετρία, σε οποιαδήποτε περιοχή, και για οποιαδήποτε καλλιέργεια, αρκεί να επιλεγούν κάθε φορά οι τιμές των γεωμετρικών δεδομένων και των δράσεων που επιβάλλονται στις κεφαλές των στύλων από την προένταση των τενόντων και την ανεμοφόρτιση των διχτυών. Επίσης μπορούν να εφαρμοστούν για στύλους από οποιοδήποτε υλικό ήτοι σκυρόδεμα, χάλυβα, ξύλο.

Η επίλυση των σχέσεων με τη δημιουργία φύλλων Excel δίνει τη δυνατότητα ενσωμάτωσής της ως υπορουτίνα στο συνολικό πρόγραμμα της μελέτης διαστασιολόγησης των στύλων. (Θεοχάρης, Μ., 2012)

Οι τιμές του πίνακα 2 θα χρησιμοποιηθούν στη συνέχεια για τη διαστασιολόγηση των στύλων για εγκαταστάσεις προστασίας δενδρωδών καλλιεργειών στην ενδοχώρα. Η διαστασιολόγηση θα γίνει αναλόγως του υλικού των στύλων σύμφωνα: α) Με τον ευρωκώδικα 2, EC2, για στύλους οπλισμένου σκυροδέματος, β) Με τον EC3, για χαλύβδινους στύλους και γ) Με τον EC5, για ξύλινους στύλους.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Κανονισμοί

Beton Kalender, 1984. Τόμος 2, Κεφάλαιο Β, Μετάφραση Δημ. Πέντζα, Εκδότης, Μ. Γκιούρδας.

EN 1990:2002. Eurocode: Basis of Structural Design.

EN 1991:2005. Eurocode 1: Actions on structures.

EN 1992:2004. Eurocode 2: Design of concrete structures.

EN 1993:2003. Eurocode 3: Design of steel structures.

prEN 1995:2002. Eurocode 5: Design of timber structures.

ΕΛ.Γ.Α., 2012. Προδιαγραφές εγκαταστάσεων αντιχαλαζικής και αντιβροχικής προστασίας καρποφόρων δένδρων και θάμνων, σελ. 9, Αθήνα.

Μονογραφίες

Θεοχάρης, Μ., 2000. Η εφαρμογή των Ευρωκωδίκων στη μελέτη των Ελληνικών θερμοκηπίων, Μετ. Διατρ., Τμ. Γεωπ. Φυτ. και Ζωικ. Παρ/γής Παν/μίου Θεσσαλίας, Βόλος, σελ. 215.

Μ. Θεοχάρης, 2012. Υπολογισμός των στύλων των εγκαταστάσεων αντιχαλαζικής και αντιβροχικής προστασίας στην Ελλάδα, Άρτα, σελ. 254.

Πρακτικά Συνεδρίων

Μ. Θεοχάρης, Χ. Μυριούνης και Α. Σιάνου, 2011. Οι φορτίσεις των θερμοκηπιακών κατασκευών στην Ελλάδα σύμφωνα με τους Ευρωκώδικες, Πρακτ. 7ου Πανελλ. Συν. Γεωργ. Μηχαν., Κωδ. Εργασ. 5.1, Αθήνα.

ΕΠΟΧΙΑΚΗ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ ΤΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΗΣ ΕΝΤΑΤΙΚΑ ΕΚΤΡΕΦΟΜΕΝΩΝ ΠΡΟΒΑΤΩΝ ΣΤΟ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ ΦΥΣΙΚΩΣ ΑΕΡΙΖΟΜΕΝΟΥ ΣΤΑΒΛΟΥ

Δημήτρης Κ. Παπαναστασίου[1], Θωμάς Μπαρτζάνας[1], Παναγιώτης Παναγάκης[2], Κωνσταντίνος Κίττας[3]
[1]Εθνικό Κέντρο Έρευνας και Τεχνολογικής Ανάπτυξης, Ινστιτούτο Έρευνας και Τεχνολογίας Θεσσαλίας,
Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανικής και Περιβάλλοντος,
Τεχνολογικό Πάρκο Θεσσαλίας, Α΄ Βιομηχανική Περιοχή Βόλου, Τ.Θ. 15, Τ.Κ. 38500, Βόλος
[2]Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής,
Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών, Ιερά Οδός 75, Τ.Κ. 11855, Αθήνα
[3]Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών και Ελέγχου Περιβάλλοντος,
Οδός Φυτόκου, Τ.Κ. 38446, Ν. Ιωνία Μαγνησίας

Η θερμική καταπόνηση (ΘΚ) των προβάτων αποτελεί σοβαρή απειλή για την ευζωία τους, αφού επηρεάζει την ανάπτυξη, τις βιολογικές λειτουργίες, την αναπαραγωγή και την παραγωγικότητά τους. Η παρούσα εργασία στοχεύει στη μελέτη της εποχιακής διακύμανσης της ΘΚ, στην οποία ενδέχεται να εκτεθούν τα πρόβατα. Η ΘΚ αποτιμήθηκε με χρήση του δείκτη θερμοκρασίας υγρασίας (Temperature Humidity Index, THI) και του εποχιακού δείκτη Seasonal THI – hrs. Ο δείκτης THI υπολογίστηκε από ωριαίες τιμές θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας που καταγράφηκαν σε ένα προβατοστάσιο με φυσικό αερισμό κατά τη διάρκεια ενός έτους. Η ανάλυση έδειξε ότι τα πρόβατα πιθανώς υπέστησαν ΘΚ (THI ≥ 22,2) στο 79%, 17% και 11% των ωρών του καλοκαιριού, του φθινοπώρου και της άνοιξης, αντίστοιχα, ενώ δεν υπέστησαν ΘΚ το χειμώνα. Κατά τη διάρκεια όλων των καλοκαιρινών ημερών, η ελάχιστη ημερήσια μέγιστη ωριαία τιμή του δείκτη THI ήταν 24,6, υποδεικνύοντας ότι τα πρόβατα υπέστησαν σοβαρή ΘΚ (THI ≥ 23,3). Ο μηνιαίος μέσος όρος των ημερήσιων μέγιστων ωριαίων τιμών του δείκτη THI παρέμεινε πάνω από το όριο της άκρως σοβαρής ΘΚ (25,6) κατά τους καλοκαιρινούς μήνες και πάνω από το όριο της σοβαρής ΘΚ (23,3) το Μάιο και το Σεπτέμβριο. Οι τιμές του εποχιακού δείκτη Seasonal THI - hrs υπό συνθήκες ΘΚ (THI ≥ 22,2) ήταν 6596, 975, 0 και 516 κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, του φθινοπώρου, του χειμώνα και της άνοιξης, αντίστοιχα. Τα αποτελέσματα αυτά επιβεβαιώνουν ότι τα πρόβατα πιθανώς εκτέθηκαν σε ΘΚ κυρίως κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού και ότι απαιτείται η λήψη μέτρων ώστε να βελτιωθούν οι κλιματικές συνθήκες εντός του προβατοστασίου ώστε να βελτιωθεί η θερμική άνεση των ζώων, ενόψει και της επερχόμενης κλιματικής αλλαγής.

Λέξεις κλειδιά: προβατοστάσιο, πρόβατα, εποχιακή θερμική καταπόνηση, δείκτης θερμοκρασίας – υγρασίας

SEASONAL VARIATION OF POTENTIAL SHEEP HEAT-STRESS CONDITIONS INSIDE A NATURALLY VENTILATED BARN

DimitrisK. Papanastasiou[1], Thomas Bartzanas[1], Panagiotis Panagakis[2], Constantinos Kittas[3]
[1]Centre for Research and Technology Hellas, Institute for Research and Technology – Thessaly,
Laboratory of Agricultural Engineering and Environment,
Technology Park of Thessaly, 1st Industrial Area of Volos, P.O. Box 15, Volos, GR-38500
[2]Agricultural University of Athens, Department of Natural Resources Management & Agricultural Engineering,
Laboratory of Farm Structures, Iera Odos 75, Athens, GR-11855
[3]University of Thessaly, School of Agricultural Sciences, Department of Agriculture Crop Production and Rural Environment, Laboratory of Agricultural Constructions and Environmental Control,
Fytokou Str., N. Ionia, Magnisia, GR-38446
dkpapan@ireteth.certh.gr, bartzanas@ireteth.certh.com, ppap@aua.gr, ckittas@uth.gr

It is well documented that heat-stress (HS) crucially affects the body growth, the biological functions and the productive and reproductive characteristics of sheep, it is therefore, considered as a serious threat for their short- or long-term thermal welfare. The objective of this paper is to study the seasonal variation of the HS to which dairy ewes are potentially exposed. HS conditions were assessed by means of Temperature Humidity Index (THI) and Seasonal THI - hrs index. THI was calculated using hourly temperature and relative humidity values observed at a naturally ventilated sheep barn during one year. The analysis showed that dairy ewes were exposed to potential HS (THI ≥ 22.2) in 79%, 17% and 11% of summer, autumn and spring hours, respectively, whereas no HS was present during winter. During all summer days the minimum daily maximum hourly THI value was 24.6 indicating that sheep experienced severe HS (THI ≥ 23.3). The monthly means of the daily maximum hourly THI values remained above the extreme severe HS threshold (i.e. 25.6) during the summer months and above the severe HS threshold (i.e. 23.3) during May and September. The values of the Seasonal THI - hrs index under HS conditions (THI ≥ 22.2) were 6596, 975, 0 and 516 during summer, autumn, winter and spring, respectively. These findings clearly verify that dairy ewes were exposed to potential HS mainly during summer and that measures are required so as (i) to improve the indoor climate conditions and consequently improve animals' thermal comfort and (ii) to adapt to the expected climate change conditions.

Keywords: Sheep barn, Dairy ewes, Seasonal heat-stress, Temperature humidity index.

1. INTRODUCTION

Climate conditions within a livestock building affect animal health and welfare. An inadequate thermal environment can affect the incidence and severity of certain endemic diseases, the animals' thermal comfort, growth rate and milk yield, while it can influence indoor air pollution levels (Seedorf et al., 1998; Seinfeld and Pandis, 1998). It is well documented (Thwaites, 1985) that a combination of high ambient temperatures and high relative humidity is unsuitable to sheep. Silanikove (2000) stated that in the long-term growth, milk production and reproduction of ruminants are impaired under HS as a result of the drastic changes in biological functions. Sevi et al. (2001) stated that high temperatures induce adverse effects on the thermal and energy balance, the mineral metabolism, the immune function, the udder health, and the milk production of lactating ewes during summer under the Mediterranean climate. Also, Sevi et al. (2002) reported that high temperatures may induce a worsening of nutritional properties associated with the fatty acid profile of ewe milk. Finocchiaro et al. (2005) found that milk production yields of Mediterranean dairy sheep are affected by HS. Panagakis and Chronopoulou (2010) found that under abnormally hot summer conditions, dairy ewes had respiration rates above normal, while their shade seeking behaviour was also affected. Sevi and Caroprese (2012) concluded that field trials have clearly demonstrated that, even if sheep are considered to be among the most heat tolerant species, exposure to high ambient temperatures has a detrimental impact on their production performance, including milk nutritional and technological properties. The same authors stated that reduction of thermal stress in dairy sheep results in cumulative beneficial effects such as the lengthening of lactation, the maintenance of good processing features of milk and the reduction of veterinary costs.

The increase in temperature that is expected to occur in the future due to climate change may induce various effects to livestock production (Kuczynski et al., 2011). This temperature increase will probably have a direct effect on animals' HS. Segnalini et al. (2011) studied the dynamics of THI over the Mediterranean basin during the period 1951 – 2007 and pointed out an increase of summer THI values. Solymosi et al. (2010) found that the number of HS days increased by 4.1% per year during the period 1973 – 2008 in Hungary. Solymosi et al. (2010) used climate scenario data projected from various combinations of global climate models, future greenhouse gas emission scenarios and regional climate models to predict possible changes in the annual number of HS days that could be observed in the near future (2021 – 2050) relative to the reference period (1961 – 1990). The comparison showed that the 30-year mean of the annual number of HS days is expected to increase by 1 – 27 days, depending on the regional climate model used. In half of the cases examined, the increase is expected to be at least 1 week. It is worth noting that the last two studies mentioned above underlined that the observed and projected increases, and consequently their impacts, are spatially heterogeneous due to several physical and geographical factors (i.e. atmospheric circulation, regimes of climate variables, latitude, altitude, topography), as well as due to the spatial distribution of the livestock population. Consequently, there is a need to perform temporal and spatial monitoring of HS conditions and to propose protective interventions, taking into account the specific characteristics of every region.

The economic importance of the sheep sector must be pointed out (Theocharopoulos et al., 2007). Sheep farming is the largest livestock sector in Greece, accounting for 30% of the total value of livestock output. Sheep milk and meat are among the major agricultural commodities with a share of ~9% of the total value of agricultural production. Greece is among the main producers of sheep milk and meat in EU as 670 Ktones of sheep milk and 80 Ktones of sheep meat are produced annually, accounting for the 10% of total EU production.

This study, aims to assess a typical sheep barn for seasonal HS imposed upon dairy ewes and to propose appropriate design solutions concerning structural and environmental control issues.

2. MATERIAL AND METHODS

2.1. Facility, animals and climate regime

The experimental trial was run from 01/09/2008 to 31/08/2009 at a sheep barn located 91 m above sea level near the east coast of central Greece (latitude 39° 20′ N, longitude 22° 53′ E). 500 dairy ewes were housed in the barn, which was naturally ventilated, occupied an area of 879 m^2 and a volume of 4,777 m^3 and had an N-S orientation. A detailed description is given in Papanastasiou et al. (2011). The climate in the greater area where the barn is located is typical of the Mediterranean climate: mild and rainy winters, relatively warm and dry summers and, generally, extended periods of sunshine throughout most of the year.

2.2. Climatic data

Two miniature devices (model Hobo Pro, Onset, USA) were used to monitor air temperature and relative humidity inside and outside the sheep barn. The devices were placed in a white plastic shield with lateral slots for protection. Indoors, the shield was fixed at the middle of the building at ~1.5 m above the ground, while outdoors it was fixed on a mast at ~3 m above the ground at the southwest side of the building. Climatic variables were observed every 15 min. Hourly averaged values are used in the present analysis. Indoors, missing values were negligible, while outdoors values were available from 27/11/2008 and no missing values were detected during the monitoring period.

2.3. Sheep HS assessment

Marai et al. (2007) suggested that an appropriate climatic index to estimate the severity of sheep HS is the Temperature Humidity Index (THI) given in equation 1, where T is the dry-bulb temperature (°C) and RH is the relative humidity (%). The same authors defined four possible categories of HS, namely: < 22.2 = absence of HS; 22.2 to < 23.3 = moderate HS; 23.3 to < 25.6 = severe HS; and ≥ 25.6 = extreme severe HS.

$$THI = T - (0.31 - 0.0031 \cdot RH) \cdot (T - 14.4) \quad (1)$$

Hahn and Mader (1997) introduced the Daily THI - hrs at/or above certain HS thresholds (eq. 2) so as to provide a measure of the magnitude of daily heat load (intensity and duration) on dairy cows.

$$\text{Daily THI} - \text{hrs} = \sum_{i=1}^{24} (\text{THI} - \text{base})_{hr=1,\ldots,24} \quad (2)$$

where THI is the hourly Temperature-Humidity Index and base is a certain HS threshold.

Panagakis and Chronopoulou (2010) used the Daily THI-hrs index to describe the potential dairy ewes' heat burden. They concluded that as heat ensued towards noon, the Daily THI-hrs increased resulting in elevated respiration rate and apparent short-term HS. To our knowledge a seasonal index, has not ever before been used for evaluating potential dairy ewe HS, therefore we propose its application within each season using equation 3:

$$\text{Seasonal THI} - \text{hrs} = \sum \text{Daily THI} - \text{hrs} \quad (3)$$

3. RESULTS AND DISCUSSION

Table 1 gives an overall picture of the mean, minimum and maximum values for the dry-bulb air temperature and the relative humidity observed indoors and outdoors during the examined period. It is worth noticing that during the warm period of the year the temperature levels are affected by the sea breeze circulation that frequently develops in the area (Papanastasiou et al. 2010) and by the Etesian winds (Poupkou et al. 2011). The average temperature values inside the barn were 4.6°C, 2.6°C and 1°C higher than those observed outside the barn in winter, spring and summer, respectively. The fluctuations of the temperature differences between the indoor and the outdoor temperature values during winter, spring and summer were further examined. Figure 1 presents the average daily variation of these differences (i.e. indoor temperature minus outdoor temperature). Figure 1 shows that the differences were higher during night-time than during daytime during all the examined seasons. Additionally, the difference remained almost constant during the night hours. These findings reveal that indoor temperature levels were mainly controlled through adjusting the natural ventilation rate (increasing from minimum at winter towards maximum at summer). Ventilation rate was reduced and remained unaltered during the night resulting in higher and almost stable temperature differences. The amplitude of the temperature difference is smaller in summer. Indoor temperature differed from outdoor temperature by 1°C from 09:00h to 19:00h, namely during the period when natural ventilation is at maximum. Consequently, summer indoor temperature levels were mainly the result of maximum natural ventilation.

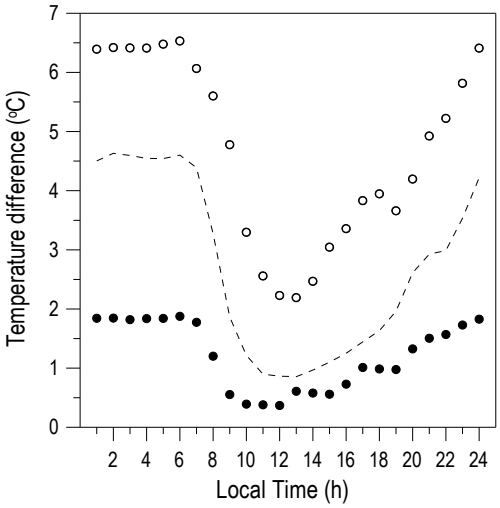


Figure 1. Average diurnal variation of differences between indoor and outdoor temperature values (●: summer; ---: spring; ○: winter).

Information about the THI levels and the HS conditions that prevailed inside and outside the sheep barn during the examined period is given in table 2. The analysis of the hourly THI values revealed that animals were potentially exposed to HS, which varied among seasons. The mean THI values were higher inside the barn than outside the barn. However, the maximum THI levels that prevailed indoors and outdoors were similar. Indoor HS conditions were worse than outdoor HS conditions during summer. HS conditions inside and outside the barn remained almost at the same levels during spring, whereas no HS was present during winter neither inside nor outside the barn. The study of the daily maximum hourly values of THI revealed that peak HS levels inside the barn were similar to those observed outside the barn. The daily maximum hourly value of THI exceeded the extreme severe HS threshold (THI = 25.6) in 92% and 11% of the summer and spring days, respectively, inside the barn while outside the barn the corresponding values were 91% and 11%. It is worth mentioning that the minimum daily maximum hourly THI value that was observed during summer inside and outside the barn was 24.6 and 24.1, respectively, a fact that shows that during all summer days sheep experienced severe HS (THI ≥ 23.3).

The average monthly variations of THI values inside and outside the sheep barn along with the corresponding THI thresholds (i.e. 22.2, 23.3 and 25.6) are presented in Figure 2. This figure shows that THI levels were higher during July than during the other months. The monthly means of the daily maximum hourly THI values remained above the

extreme severe HS threshold (i.e. 25.6) during the summer months and above the severe HS threshold (i.e. 23.3) during May and September. Additionally, the monthly means of the hourly THI values remained above the severe HS threshold (i.e. 23.3) during the summer months, except the outdoor June's mean value, which was a bit lower but higher than the HS threshold (i.e. 22.2).

Season	Value	Outside		Inside	
		T (°C)	RH (%)	T (°C)	RH (%)
Summer	Mean	25.8	51	26.8	53
	Minimum	14.9	15	16.8	21
	Maximum	38.9	99	37.9	90
Autumn	Mean	NA	NA	18.9	72
	Minimum	NA	NA	9.6	28
	Maximum	NA	NA	32.5	94
Winter	Mean	8.2	77	12.8	75
	Minimum	-2.0	27	5.5	41
	Maximum	21.1	101	21.8	95
Spring	Mean	14.7	70	17.3	68
	Minimum	1.8	19	7.4	30
	Maximum	31.9	100	31.6	93

Table 1. Descriptive statistics for the dry-bulb temperature and relative humidity hourly values observed inside and outside the barn. NA: Not available.

		THI value			Percentage (%) of hours when:		
		Mean	Maximum	Minimum	THI ≥ 22.2	THI ≥ 23.3	THI ≥ 25.6
Summer	Inside	24.9	32.7	16.6	79	69	42
	Outside	23.9	32.7	14.9	67	57	35
Autumn	Inside	18.4	29.3	9.8	17	12	6
	Outside	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Winter	Inside	13.0	20.9	6.1	0	0	0
	Outside	8.6	20.2	-1.4	0	0	0
Spring	Inside	16.9	28.2	7.7	11	8	2
	Outside	14.4	28.1	2.2	10	7	2

Table 2. Descriptive statistics for the hourly THI values and the HS conditions prevailed per season inside and outside the barn. NA: Not available.

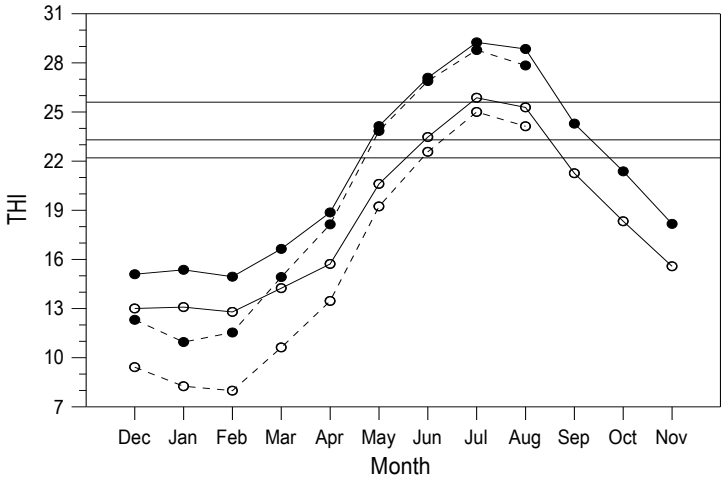


Figure 2. Average monthly variations of THI inside (solid line) and outside (dashed line) the sheep barn (●: monthly means of daily maximum hourly values; ○: monthly means of hourly values).

The dairy ewe potential HS was further assessed by means of the Seasonal THI - hrs index, which was calculated for three HS categories, based on the indoor measurements. Figure 3 shows that the values of the Seasonal THI - hrs index under HS conditions (THI ≥ 22.2) were 6596, 975, 0 and 516 during summer, autumn, winter and spring, respectively. Under moderate HS conditions, the summer Seasonal THI - hrs value was 5.5 and 7.6 times higher than the index values during autumn and spring, respectively. The corresponding factors under severe HS conditions were found equal to 6.4 and 11.6, respectively, whereas during extreme severe HS conditions they were equal to 9.7 and 52.1. These findings clearly indicate that potential HS was imposed onto dairy ewes mainly during the summer. Additionally, the comparative assessment of Seasonal THI - hrs values shows that the magnitude and intensity of HS are much higher during summer than during autumn and spring.

Under summer conditions dairy ewes were apparently exposed to severe or extremely severe HS potentially burdening their welfare, while they were also partially exposed to severe or extremely severe HS during autumn and spring. The above results call for protective measures so as to improve the indoor climate conditions and consequently improve animals' thermal comfort. Roof insulation so that the indoor thermal microenvironment would not be significantly affected by the outdoor climate

conditions, painting of roof with a white reflective paint in order to reduce the absorption of solar radiation and a ridge opening enhancing natural ventilation due to thermal buoyancy could reduce the potential autumn and spring HS of animals. Moreover, during strenuous conditions, evaporative cooling via using fans combined with fogging could be adopted as a practical and financially viable engineering solution so as to maintain indoor conditions within the thermoneutral zone.

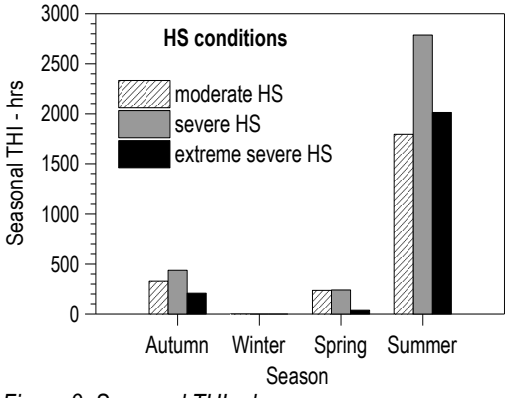


Figure 3. Seasonal THI – hrs.

4. CONCLUSIONS

The potential seasonal HS of dairy ewes housed in a typical sheep barn located at a Greek coastal area was examined in this study. Temperature and relative humidity measurements were used to study the HS conditions inside the barn during a whole year. Hourly values of THI and the values of the Seasonal THI - hrs index were calculated. It is found that the climatic conditions inside the barn impose potential HS upon animals. Dairy ewes were very frequently exposed to potential HS during the summer. HS conditions were almost similar during the transition periods (spring, autumn), being slightly worse in autumn than in spring. No HS was detected during the winter. HS burdens sheep welfare and productivity as well as sheep products which account for a significant part of livestock goods in Greece inducing a great impact on the national economy; therefore protective measures must be taken so as to improve the indoor thermal environment.

ACKNOWLEDGEMENT

This work was supported by the Joint Call of ERANET ICT-Agri C-2 projects “Smart Integrated Livestock Farming: integrating user-centric & ICT-based decision support platforms – SILF”

REFERENCES

Finocchiaro, R., Van Kaam, J.B.C.H.M., Portolano, B., Misztal, I., 2005. Effect of heat stress on production of Mediterranean dairy sheep. J. Dairy Sci., 88(5):1855 – 1864

Hahn, G.L., Mader, T.L., 1997. Heat waves in relation to thermoregulation, feeding behavior and mortality of feedlot cattle. In Livestock Environment V, Proc. of the 5th Int. Symp. I: 563-571. R. W. Bottcher and S. J. Hoff, eds. St. Joseph, Mich.: ASAE.

Kuczynski, T., Blanes-Vidal, V., Li, B.M., Gates, R.S., Nääs, I.A., Moura, D.J., Berckmans, D., Banhazi, T.M., 2011. Impact of global climate change on the health, welfare and productivity of intensively housed livestock. Int. J. Agric. & Biol. Eng., 4(2):1–22

Marai, I.F.M., El-Darawany, A.A., Fadiel, A., Abdel-Hafez. M.A.M., 2007. Physiological traits as affected by heat stress in sheep-A review. Small Ruminant Res., 71(1-3):1–12

Panagakis, P., Chronopoulou, E., 2010. Preliminary evaluation of the apparent short term heat-stress of dairy ewes reared under hot summer conditions. Appl. Eng. Agric., 26(6):1035–1042

Papanastasiou, D.K., Fidaros, D., Bartzanas, T., Kittas, C., 2011. Monitoring particulate matter levels and climate conditions in a Greek sheep and goat livestock building. Environ. Monit. Assess., 183(1-4):285–296

Papanastasiou, D.K., Melas, D., Bartzanas, T., Kittas, C., 2010. Temperature, comfort and pollution levels during heat waves and the role of sea breeze. Int. J. Biometeorol., 54(3):307– 317

Poupkou, A., Zanis, P., Nastos, P., Papanastasiou, D., Melas, D., Tourpali, K., Zerefos, C., 2011. Present climate trend analysis of the Etesian winds in the Aegean Sea. Theor. Appl. Climatol., 106(3-4):459 – 472

Segnalini, M., Nardone, A., Bernabucci, U., Vitali, A., Ronchi, B., Lacetera, N., 2011. Dynamics of the temperature-humidity index in the Mediterranean basin. Int. J. Biometeorol., 55(2):253–263

Sevi, A., Annicchiarico, G., Albenzio, M., Taibi, L., Muscio, A., Dell’Aquila, S., 2001. Effects of solar radiation and feeding time on behavior, immune response and production of lactating ewes under high ambient temperature. J. Dairy Sci., 84(3):629–640

Sevi, A., Rotunno, T., Di Caterina, R., Muscio, A., 2002. Fatty acid composition of ewe milk as affected by solar radiation and high ambient temperature. J. Dairy Res., 69(2):181–194

Sevi, A., Caroprese, M., 2012. Impact of heat stress on milk production, immunity and udder health in sheep: A critical review. Small Ruminant Res., 107(1):1-7

Silanikove, N., 2000. Effects of heat stress on the welfare of extensively managed domestic ruminants. Livest. Prod. Sci., 67(1-2):1-18

Solymosi, N., Torma, C., Kern, A., Maróti-Agóts, A., Barcza, Z., Könyves, L., Berke, O., Reiczigel, J., 2010. Changing climate in Hungary and trends in the annual number of heat stress days. Int. J. Biometeorol., 54(4):423–431

Theocharopoulos, A., Melfou, K., Papanagiotou, E., 2007. A microeconomic approach for agricultural development: a dea application to Greek sheep farms. NEW MEDIT, 4:48–53

Thwaites, C.J., 1985. Chapt. 2: Physiological responses and productivity in sheep. Vol. II: Ungulates. In Stress Physiology in Livestock, 25–38. M. K. Yousef, ed. Boca Raton, FL: CRC Press.

ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ

Χ. Παπαϊωάννου[1α], Δ. Καλφούντζος[1α], Ι. Γράβαλος[1α], Ι. Βαγγέλας[1β], Α. Παπαχατζής[1β], Μ. Βλαχογιάννης[1γ], Σ. Κωτσόπουλος[1δ], Α. Αντωνίου[2]

[1α]Τμήμα Μηχανικής Βιοσυστημάτων, [1β]Τμήμα Τεχνολόγων Γεωπόνων, [1γ]Τμήμα Μηχανολογίας, [1δ]Τμήμα Πολιτικών Έργων Υποδομής, Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Θεσσαλίας, Τ.Κ. 41111, Λάρισα

[2]Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Τμήμα Περιβάλλοντος, Τ.Κ. 81100 Μυτιλήνη

e-mail: xrpapa@teilar.gr

Η έλλειψη του νερού άρδευσης των χωρών της λεκάνης της Μεσογείου η οποία θα είναι ιδιαίτερα έντονη τις επόμενες δεκαετίες και η ανάγκη ορθολογικής χρήσης του νερού άρδευσης στις καλλιέργειες υπό κάλυψη, οδήγησαν τη συγκεκριμένη ερευνητική ομάδα, στην προσπάθεια κατασκευής ενός πρωτότυπου θερμοκηπίου φιλικού προς το περιβάλλον το οποίο θα «παράγει» κηπευτικά, με την ελάχιστη κατανάλωση νερού. Η φιλικότητα του όλου εγχειρήματος προς το περιβάλλον και η ένταξη του στην πράσινη ανάπτυξη, στοιχειοθετείται τόσο από το γεγονός ότι το πρωτότυπο θερμοκήπιο θα θερμαίνεται χρησιμοποιώντας ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, δηλαδή ενέργεια αβαθούς γεωθερμίας, όσο και από το ότι κατά τη λειτουργία του, μέρος των υδρατμών του περιβάλλοντος του αέρα του θερμοκηπίου θα ανακτάται με τη μέθοδο της συμπυκνώσεως, ενώ θα υπάρχει και σύστημα συλλογής όμβριων. Τέλος, στην περαιτέρω μείωση των εισροών της καλλιέργειας, θα συμβάλλουν η εφαρμογή του κλειστού συστήματος υδροπονίας, η χρήση δικτύου εντομοστεγανότητας και το πλήρες αυτοματοποιημένο σύστημα ελέγχου του κλίματος του θερμοκηπίου.

Λέξεις κλειδιά: κλειστό θερμοκήπιο, κλιματική αλλαγή, εξοικονόμηση νερού.

PROTECTED CULTIVATION AND CLIMATE CHANGE

C. Papaioannou[1a], D. Kalfountzos[1a], J. Gravalos[1a], J. Vaggelas[1b], A. Papachatzis[1b], M. Vlachogiannis[1c], S. Kotsopoulos[1d], A. Αντωνίου[2]

[1a]Department of Biosystems Engineering, [1b]Department of Technological Agronomists, [1c]Department of Mechanical Engineering, [1d]Department of Infrastructure Engineering, Tech. Educational Institute of Thessaly, 41110, Larissa

[2]Department of Environment, Aegean University, 81100 Mytilene

e-mail: xrpapa@teilar.gr

The increased lack of irrigation water in Mediterranean countries along with the need for the rational use of irrigation water in greenhouse production, led the research team in constructing a prototype environmentally friendly greenhouse for fruit and vegetable production, under limited water supply which will be the case in the next decades that are following, at the above mentioned area. The friendliness of this cultivation method which is introduced here, is verified not only by the fact that the prototype greenhouse uses renewable energy source for heating (such as shallow geothermal energy), but also by adapting a system that retrieves part of the water vapour of the greenhouse air, collects it and reuse it for irrigation purposes, after condensation. In addition, other methods concerning decreased inputs in greenhouse production will be followed. These are the collection and reuse of rainwater, the use of closed type hydroponics, the cover of the openings with screens and last but not least, the total climate control automation.

Keywords**: closed greenhouse, climate change, water preservation.**

1. INTRODUCTION

Water quality and quantity is an issue to EU. Unfortunately pollution and climate change have affected water resources and this affects the quality of agricultural products. The EU Water Framework Directive (2000/60/EC) for the protection of all waters with the aim of reaching a “good ecological status” of all Community waters, by 2015. The successful implementation of the Water Framework Directive (WFD) depends strongly on agricultural land use, which is mainly influenced by the Common Agricultural Policy (CAP). EU has a binding target to have 20% of the EU's overall energy consumption coming from renewables by 2020.

For several years, the European Union has been committed to tackling climate change both internally and internationally and has placed it high on the EU agenda, as reflected in European climate change policy.

Indeed, the EU is taking action to curb greenhouse gas emissions in all its areas of activity in a bid to achieve the following objectives: consuming less-polluting energy more efficiently, creating cleaner and more balanced transport options, making companies more environmentally responsible without compromising their competitiveness, ensuring environmentally friendly land-use planning and agriculture and creating conditions conducive to research and innovation.

The proposed project will demonstrate the ability to achieve high quality agricultural production, and minimize the negative environmental impact, by implementing an innovative approach based on sustainable agricultural development. Project will re-

insure agricultural sustainable production even in a changing environment due to climate change.

2. DESIGN PRINCIPLES

2.1. European projects and Climate change

Due to Climate change, South Europe will suffer by rise of temperature, decrease of annual rainfall and water availability and extensive drought seasons. As the report "Adaptation to Climate Change in the Agricultural Sector, AGRI-2006-G4-05, AEA Energy & Environment and Universidad de Politécnica de Madrid", points out this will result to reduction to crop yields and to suitable crop area. More precisely the member states affected are Portugal, Spain, Italy, Greece, Bulgaria, Slovenia, Cyprus, Malta, South France and South Romania.

Another European project is the one which will be described here. The title of the program is Adapt2Change and it is a LIFE+ project (LIFE09 ENV/GR/000296) aimed at demonstrating adaptation of agricultural production to climate change and limited water supply. The adapt2change project has officially started on the 1st of September 2010 and initially it was planned to last 48 months. It deals with 2 countries Greece and Cyprus, as both having severe problems in water scarcity.

2.2. Adapt2Change principles

The objectives of the Adapt2Change project can be summarized as follows:

- Minimize fresh water use for agricultural production and introduce water recycling method in rainfall and in a closed greenhouse system.
- Demonstrate how shallow geothermal energy may be used in water recycling process and introduce renewable energy in agricultural sector.
- Produce a relevant management automation system for greenhouse maximization production and high coefficient in energy efficiency.
- Comply with reformed CAP by:
- Improving the competitiveness of European farmers enabling them to cope with the growing water scarcity, high fuel prices and fight external competition.
- Improving the competitiveness of rural areas.
- Maintaining the environment and preserve Europe's rural heritage.
- Evaluation of projects findings on water recycling in agriculture on national agricultural policy (Greece - Cyprus).
- Minimize land requirements for agriculture use.
- Minimize environmental effects of agriculture.
- Decrease the emissions of greenhouse gases and assist the farmers to comply with current and upcoming environmental regulations.
- Adapt agricultural production practices to the constraints and opportunities of a changing climate in 2 levels:
- Farm-level adaptation.
- Sectorial-level adaptation.
- Demonstrate a production system suitable for a wide range of environmental conditions.
- Provide to producers a Remote Support System.

2.3. Actions and means involved in the project

2.3.1. Project Management and Monitoring

This action ensured that all project activities has been carried out according to the planned time-table and financial provisions and that their output is consistent with the project's scope and specific objectives which are of high quality. In addition, this action ensured that sharing of information among project partners was effective; the project's webportal was prepared in due time; reporting to the EC on project progress.

2.3.2. Preparation Activities - Site Preparation & Prototype Unit Construction

Project proposes the use of a three components system for minimizing water & energy consumption in agriculture, thus shallow geothermal component, water recycling unit (concentrator) and the prototype greenhouse. These components were calibrated and adapted to each location. For geothermal component the preparatory activities included the selection of energy transfer method, the site preparation and the definition of geothermal usage for energy savings. For the greenhouse component preparatory activities included the greenhouse type and cover material selection the innovative design aspects in the construction and the automation design. Finally water recycling unit (concentrator) was designed according to geothermal and greenhouse needs.

2.3.3. Testing & Cultivation Periods – Demonstration of Technical and Financial Ability

Testing period insured that equipment and procedures are working as initially designed. The horticulture production is very fragile and sensitive; hence it is important that sufficient tests are carried out, in order to minimize risk of failure in the planned production efforts. Tests included equipment testing, unit - equipment fine tuning. Moreover, representative species of vegetables and fruits will be cultivated, during different seasons in all project's duration.

2.3.4. Communication Strategy & Effective Dissemination of Project Deliverables

The action executes a comprehensive communication plan for promoting water recycling and preservation through advertisement/advertorials, press releases, project brochures, newsletters, website, buntings and leaflets. These strategies will support the project to reach the respective target groups and ensure that the outputs, the results and the outcomes will be replicated collectively to the target groups and final beneficiaries. Moreover, partners will also participate at similar commercialization events (conference-exhibition-seminar) for promoting the project and establish contacts with stakeholders.

Demonstrating to potential users on the prototype is the most effective method of communication with stakeholders. Demonstration will help new users to

understand the necessity of water preservation and of high quality agricultural production.

2.3.5. Awareness Campaign on Agriculture Adaptation to Climate Change

The aim of this action is to ensure that project progress and outputs are disseminated as effectively as possible and to stimulate environmental awareness in order to promote sustainable water use in agricultural sector, after the end of the project. Especially project aims to stakeholders that are highly influenced by Common Agriculture Policy adoption.

2.3.6. After Life Communication Plan

The "After-LIFE Communication Plan" is a separate action, containing information on how TEI of Thessaly and the associate beneficiaries of the project, will continue disseminating and results communicating after project's completion.

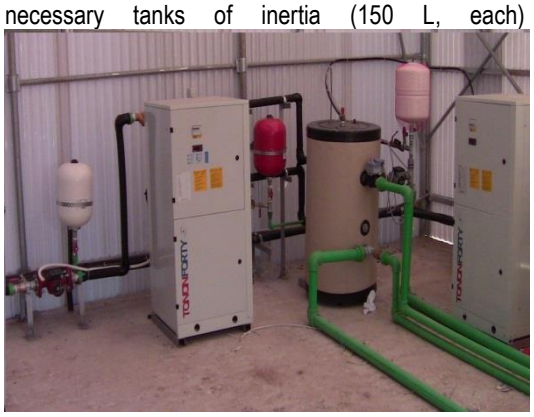
3. THE PROJECT NOWADAYS IN GREECE

Up today, the project's execution regarding installations is almost complete, except the hydroponic installation (which is now executing) and automation control systems application.

3.1. Geothermal Unit and Heat pumps

According to greenhouse dimensions, plant density and local climatic data, energy needs were estimated to be 70 kW. This will be provided by 2 equal heat pumps (Picture 1), installed in the engine room (Figure 1). The geothermy gain in the area and depth of interest is almost 70 W/m, thus 1000 m of pipe is needed (10 boreholes X 100 m depth each), to cover the proper energy load. The distance between the drilling boreholes is 6 m to prevent any thermal short circuit creation, and therefor ineffective operation of the geothermal system, which is a closed loop geothermal system. Each borehole has 2 pairs (one per heat pump) of plastic polyethylene pipes (PE100) of diameter of 40 mm. Quartz sand filled the boreholes for heat induction maximization.

Two water/water heat pumps (EPH 36 Geo) with necessary tanks of inertia (150 L, each) (Picture 1) for energy saving purposes were installed in the Engine room (Figure 1),



Picture 1. Heat pumps, tank of inertia and dilatation tanks of the water circuit, installed in the Engine room. Except the metal pipes, the special pipes (green colored) of PVC (Diam. 60 mm) of water recycling unit can be seen.

Heat pumps are equipped with scroll type compressors and automatic reversal to the refrigeration operation cycle. Each heat pump has cooling capacity of 37.9 kW under the following operation conditions: plant exchanger water (inlet/outlet) 12/7^{0}C, external source water temperature (inlet/outlet) 15/30^{0}C and heating capacity of 47.7 kW under the operation conditions: plant exchanger water (inlet/outlet) 30/35^{0}C, external source water temperature (inlet/outlet) 15/10^{0}C. The refrigerant fluid is the R407c and the C.O.P is almost 5.2 according to the provider (it is going to be calculated).

3.2. Greenhouses

Two similar double-arced (modified) type plastic greenhouses, N-S oriented and located in the experimental farm of the Technological Educational Institute of Thessaly (Latitude 39º 37΄, longitude 22º 22΄, altitude 75 m) were constructed. The geometrical characteristics of each greenhouse are: eaves height 4.0 m; ridge height 5.2 m; total width 12 m (2 arcs 6 m width each); total length 18 m; ground area 216 m^2 with the lobbies (marked darker, at Figure 1).

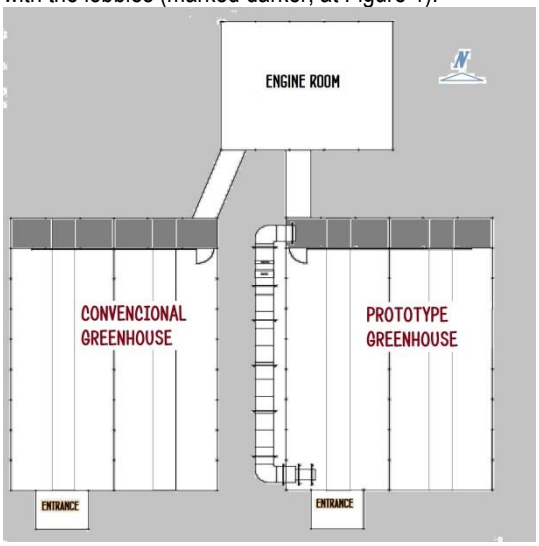


Figure 1. Top view of Adapt2change installations

The volume of every greenhouse is 999 m^3. The roof is covered by plastic film (installed on April 2012), which is a three layer LDPE film 172 μm thick, with transmissivity of 0.92. Side walls are covered by polycarbonate (mini trapezoidal), 0.5 mm thick.

The ventilation of the greenhouses is either natural (roof window, 1.7 m X 18.0 m, upside-down type, screened by a 55 x 27 mesh net, Picture 1, Picture 2, Figure 1), or forced meaning 4 northern openings (1.4 m X 2.0 m) installed in the lobby and 4 openings (1.0 m X 1.2 m) at the southern side of the main greenhouse area (Picture 2) powered by electrical motors (19.000 m^3 h^{-1}), powered by a 0.75 HP three-phase motor.

Temperature and vpd measurements are taken in the center of each greenhouse (1.5 m above the

ground). Climate and nutrition of the plants will be automatically controlled according to the following set points: 21ºC day temperature, 15ºC night temperature, 23ºC ventilation activation, 2.1 mS cm^{-1} electrical conductivity and pH of the nutrient solution 5.6.

Weed control was executed by permanently covering the soil with double-side (black-white) plastic mulch.

Heat distribution in both greenhouses will be achieved through the circulation of hot water, within plastic tubes of corrugated outer surface, of 20 mm diameter (6 atm).

Picture 1.Interior of the prototype greenhouse

Picture 2. The lobby (wet pad on the left, blinds of fresh air on the right, the end point of the outside duct of the water/air recycling unit in the center, the 4 green pipes of the 2 heat exchangers

In each greenhouse on the northern side, there is a lobby (Figure 1, Picture 2) which is an isolated area of 24 m^2 (2 X 12) where the air before entering the main greenhouse area is prepared. Between the lobby and that area, there is pad (10.0 m X 1.20 m) for cooling purposes (Picture 1, Picture 2).

3.3. Air/Water recirculation system

This system is provided only in the prototype greenhouse (Figure 1, Picture 3). It is a rectangular 22 m long duct, with a square cross section (1 m x 1 m) and double side walls of thermo galvanized steel (containing rockwool of proper width, for sufficient isolation).

Depending on the conditions the central control system will decide if the inside air of the greenhouse (after the crop) will be either extracted in the external environment, or be introduced through the recycling water/air pipeline.

When it is forced to enter the duct, it continuous outside the greenhouse and after sufficient distance, it meets the 2 heat exchangers for mass and energy exchange.

Picture 3. South side view of the prototype greenhouse located in Larissa, with the rectangular isolated duct of the water/air recycling unit.

3.3.1. 1st Heat exchanger (Cooling)

The air after betaken into the duct due to sufficient distance is passing through the first heat exchanger (cooling) is temperature is lowered hence its dehumidification is succeeded, ought to enthalpy decrease. At this position the bottom of the duct is designed to collect the water in a plastic tank and irrigate the crop through the hydroponic head. This system is expected to deliver 30 L per hour.

3.3.2. 2nd Heat Exchanger (Heating)

After the air has been drying out by the 1st heat exchanger (cooling), it will passes through the 2nd heat exchanger (heating) and if is needed (depending on the needs of the greenhouse) is heated. The system will operate automatically and will be controlled by the central control unit.

In addition, in prototype greenhouse there is rainwater collection. Thus, in total in the prototype greenhouse there are 3 plastic tanks (condensation water from the water/air recycling unit, rainwater and cooling pad water) while in the convectional greenhouse there is only one (pad water).

4. DISCUSSION

To provide economically optimal micro-environments for plant growth, producers can use or control the number of glazing layers, insulation curtains or screens to reduce long-wave radiation losses at night, reduced or increased ventilation rates, evaporative coolers, and shading devices to control incoming solar radiation (Yildiz and Stombaugh, 2006).

Agriculture today faces many challenges. WFD and CAP are pushing agriculture to a more sustainable status by minimizing pollution and by reaching higher ecological status. Resource management and food security in a changing

environment due to climate change is another issue that agriculture has to tackle.

By introducing an innovative method of cultivation within a controllable environment, many of these issues may be resolved. The project focuses in greener greenhouse production decreasing the energy and water consumption using shallow geothermal energy.

Many techniques have been developed which are already used in order to cool the air and consistently the plants within a greenhouse. In these methods water is sprayed in the greenhouse absorbing heat. From liquid phase water is turned into vapor phase and is rejected because of the higher temperature and thermal energy that it carries. As a result growers need to re-compensate this loss by pumping more water to the greenhouse. In this way growers imitate the natural cooling method that plants use.

Concentrating water vapor it is possible to recover as much as is possible water quantities, within a greenhouse. The energy requirements for recycling water within a closed greenhouse are enormous but of low enthalpy. For this reason shallow geothermal energy is an adequate source for this application. The advantages are obvious. It can be found anywhere and it is a renewable source. The infrastructure is based on relatively low tech equipment and it can be applied easily everywhere.

For all activities of the proposed project, special care has been taken in order to reduce the project's carbon footprint. More precisely:

- Shallow geothermal energy use.

A 75% reduction in conventional energy consumption and CO_2 emissions are expected to be achieved by using shallow geothermal energy. Heat or cooling is archived by caring energy from the ground to the installation. Energy is required only for this process.

- Prototype

All materials and components of the prototype unit will be fully recyclable. Contractors will attend a short course on minimizing CO_2 emissions and during construction contractors will reduce CO_2 emissions. All prototype parameters will be monitored remotely.

- Remote Control

Support (RCS) will minimize travels. The Installed energy system is managed automatically for greater efficiency.

- Minimization of travels:

All participants have agreed to decrease the number of travels to the minimum. In this context, web facilities like virtual conference tools (e.g. Skype) will be used for internal communication. The need for field trips for sampling is minimized through the use of satellite imagery. A small number of field trips are however considered necessary, for the collection of soil samples; in those cases, a low consumption vehicle will be used.

- Minimum Paper Use.

All project documents and information will be exchanged among project partners by email and web-based word processor and spreadsheet, which allow partners to share and collaborate online. Project documentation (including reports, brochures, flyers, etc.) will be available exclusively in digital format (except for layman report).

- Reducing energy demand.

Partners have agreed to use low consumption equipment and recycle all possible material.

5. CONCLUSIONS

The Adapt2change project is a very hopeful project and hopefully all the obstacles and the delays are in the past. The installations are of higher quality than the initial standards. Verification of the project goals including the crop material results and modeling of energy and crop performance is what is needed for the direct future.

Acknowledgements: *This work is executing under the framework of the project: ADAPT2CHANGE, LIFE09 ENV/GR/000296, "Adapt agricultural production to climate change and limited water supply", co-financed by European and National Funds. Thanks are due to Mr. V. Kostoulis for the technical support. Special thanks are due to Mr. C. Karabourniotis, Mr. A. Alexandrou as well as Mrs D. and Mr. C. Emmanoulidis for the excellent collaboration.*

REFERENCES

Conference Proceedings

I. Yildiz, D.P. Stombaugh, 2006. Heat Pump Cooling and Greenhouse Microclimates in Open and Confined Greenhouse Systems. ISHS Acta Horticulturae 719: International Symposium on Greenhouse Cooling.

ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟΤΕΧΝΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΝΟΣ ΠΡΟΤΥΠΟΥ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΑΥΤΟΝΟΜΟΥ ΑΓΡΟΚΤΗΜΑΤΟΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

Α-Μ. Κοσμόπουλος[1], Σ. Νάστης[2], Θ.Α. Κωτσόπουλος[1] και Γ. Μαρτζόπουλος[1]
[1]Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Γεωπονική Σχολή, Τομέας Εγγείων βελτιώσεων και Γεωργικής Μηχανικής, Τ.Κ. 54124, e-mail: mkosmop@hotmail.com
[2]Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Γεωπονική Σχολή, Τομέας Αγροτικής Οικονομίας, Τ.Κ. 54124

Στην εργασία αυτή παρουσιάζεται μια ολοκληρωμένη οικονομικοτεχνική αξιολόγηση που αφορά ένα πρότυπο ενεργειακά αυτόνομο αγρόκτημα στην περιοχή της Αν. Θεσσαλονίκης. Συγκεκριμένα, η μελέτη εστιάστηκε σε ένα τμήμα έκτασης 25 στρεμμάτων στην περιοχή του αγροκτήματος της Γεωπονικής Σχολής του Α.Π.Θ., το οποίο περιλάμβανε ένα κτηνοτροφικό κτίριο, ένα σφαγείο, ένα κτίριο κατοικίας, έναν ξενώνα και μία καλλιεργήσιμη έκταση αραβόσιτου. Υπολογίσθηκαν οι συνολικές ενεργειακές ανάγκες του αγροκτήματος σε θέρμανση και ηλεκτρισμό. Το ζητούμενο ήταν η κάλυψη των προϋπολογισθεισών συνολικών καταναλώσεων σε ενέργεια όλων των προαναφερόμενων εγκαταστάσεων με τη χρήση φωτοβολταϊκών συστημάτων και ανεμογεννητριών. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκαν τα κλιματολογικά δεδομένα της εν λόγω περιοχής και συγκεκριμένα η ηλιοφάνεια της περιοχής και το αιολικό της δυναμικό. Με τα δεδομένα αυτά διαστασιολογήθηκαν οι ανεμογεννήτριες και τα φωτοβολταϊκά συστήματα τα οποία απαιτούνται, προκειμένου να ικανοποιούνται οι ενεργειακές ανάγκες του πρότυπου αγροκτήματος. Επιπλέον, υπολογίσθηκε η οικονομική απόδοση της εν λόγω επένδυσης και εξήχθησαν χρήσιμα συμπεράσματα σχετικά με τη βιωσιμότητα και τον χρόνο της απόσβεσης της. Τα συμπεράσματα που προέκυψαν έδειξαν: α) ότι είναι δυνατή η κάλυψη των ενεργειακών αναγκών του πρότυπου αγροκτήματος με τη χρήση ανεμογεννητριών και φωτοβολταϊκών με αποτέλεσμα να είναι σημαντική η εξοικονόμηση ενέργειας σε συμβατικούς πόρους και β) ότι είναι οικονομικά βιώσιμη μία τέτοια επένδυση.

Λέξεις κλειδιά: οικονομικοτεχνική, ενεργειακές ανάγκες, αυτόνομο αγρόκτημα

TECNOECONOMICAL APPROACH OF AN ENERGY SELF-SUFFICIENT PROTOTYPE FARM IN THE AREA OF EASTERN THESSALONIKI

A-M. Kosmopoulos[1], S. Nastis[2], T.A. Kotsopoulos[1] and G. Martzopoulos[1]
[1]Department of Hydraulics, Soil Science and Agricultural Engineering, Faculty of Agriculture, Aristotle University, Thessaloniki 54124, Greece
[2]Department of Agricultural Economics, Faculty of Agriculture, Aristotle University, Thessaloniki 54124, Greece

In this paper, an integrated techno-economic approach of an energy self-sufficient prototype farm, in the area of eastern Thessaloniki, is presented. Especially, this study focused to an area of land that occurs 2,5 acres and belongs to the Agricultural Faculty, and includes corn plantation, a livestock building, a slaughterhouse, a house for the owners and a guest house. The total energy demands of the whole farm to heating and electricity was estimated. The goal was to cover the total energy consumption that were estimated for the whole farm with the usage of wind generators and photovoltaic panels. To accomplish this aim the sunshine and wind potential of the area were used. With these data, wind generators and photovoltaic panels were dimensioned, in order to cover the energy consumption of the prototype farm. The conclusions derived from this study showed that: a) it is possible to cover the energy demands of the prototype farm with the usage of wind generators and photovoltaic panels and thus, the energy saving to conventional resources is important and b) that such an investment is economically viable.

Keywords: tecnoeconomical, energy needs, self-sufficient farm

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η αύξηση του κόστους κτήσης των ορυκτών καυσίμων και η αστάθεια στην τιμή τους σε συνδυασμό με τη ρύπανση της ατμόσφαιρας που προκαλείται από τη χρήση τους καθιστούν αναγκαία την εξεύρεση νέων πηγών ενέργειας. Οι νέες πηγές θα πρέπει να προσφέρουν οικονομικά προσιτή ενέργεια η οποία θα είναι παράλληλα και φιλική προς το περιβάλλον. Φιλικές προς το περιβάλλον μορφές ενέργειας είναι η ηλιακή, η αιολική, η γεωθερμική, η βιομάζα κ.α, και ως επί το πλείστον οι ανανεώσιμες μορφές ενέργειας (Μαρτζόπουλος Γ., 2008). Με τον όρο *'«Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (Α.Π.Ε.)», αναφερόμαστε στην ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές όπως η ηλιακή, η αιολική, η αεροθερμική, η γεωθερμική, η υδροθερμική και ενέργεια των ωκεανών, η υδροηλεκτρική, από βιομάζα, από τα εκλυόμενα στους χώρους υγειονομικής ταφής αέρια, από τα αέρια που παράγονται σε μονάδες επεξεργασίας λυμάτων και από τα βιοαέρια.'* (Οδηγία 2009/28/Ε.Κ.). Η Ευρωπαϊκή Ένωση (Ε.Ε.) έχει έναν επιπλέον λόγο να ενδιαφέρεται για τη διείσδυση των Α.Π.Ε. στην τελική ακαθάριστη κατανάλωση ενέργειας, ο οποίος είναι ότι η Ε.Ε. έχει σημαντική ενεργειακή εξάρτηση από τρίτες χώρες. Η Ε.Ε. προκειμένου να προωθήσει τη χρήση των Α.Π.Ε. στον Ευρωπαϊκό χώρο έθεσε

τους παρακάτω δεσμευτικούς στόχους που αφορούν το έτος 2020 (ΥΠΕΚΑ):

- Μείωση κατά 20% των εκπομπών σε CO_2 σε σχέση με το έτος 1990
- Αύξηση της συμμετοχής των Α.Π.Ε. στο 20% στην τελική ακαθάριστη κατανάλωση ενέργειας
- Μείωση κατά 20% στη χρήση πρωτογενούς ενέργειας σε σύγκριση με τα προβλεπόμενα επίπεδα μέσω τη βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης

Με γνώμονα τα παραπάνω στην εργασία αυτή διερευνάται η δυνατότητα κάλυψης των ενεργειακών αναγκών ενός αγροκτήματος από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Η εργασία εστιάζεται σε ένα υποθετικό αγρόκτημα, του οποίου υπολογίζονται οι ενεργειακές του ανάγκες. Με βάση τις ανάγκες αυτές διαστασιολογούνται οι ανεμογεννήτριες και τα φωτοβολταϊκά συστήματα που απαιτούνται προκειμένου να καλυφθούν οι προϋπολογισμένες καταναλώσεις. Ακολουθεί μία οικονομοτεχνική αξιολόγηση του προτεινόμενου συστήματος από όπου εξάγονται χρήσιμα συμπεράσματα σχετικά με τη βιωσιμότητα του συστήματος.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1. Υπολογισμός της καταναλισκόμενης ενέργειας

Προκειμένου να υπολογιστούν οι ενεργειακές ανάγκες του αγροκτήματος σε ηλεκτρισμό και θέρμανση, το αγρόκτημα χωρίσθηκε σε επιμέρους τμήματα. Τα στοιχεία για τις ενεργειακές καταναλώσεις του κάθε τμήματος προέκυψαν από προσωπικές συνεντεύξεις με ιδιοκτήτες παρόμοιων εγκαταστάσεων. Οι ανάγκες σε ηλεκτρισμό και θέρμανση που λήφθηκαν υπόψη για τα επιμέρους τμήματα του αγροκτήματος εμφανίζονται παρακάτω:

Βουστάσιο (10 Αγελάδων Γαλακτοπαραγωγής)

Στο βουστάσιο καταναλώνεται ηλεκτρική ενέργεια για το φωτισμό, την άμελξη των ζώων, τις αυτόματες ταΐστρες και ποτίστρες και κυρίως για την απομάκρυνση και διαχείριση των παραγόμενων αποβλήτων και την άντληση του νερού με τη χρήση γεώτρησης. Από προσωπικές συνεντεύξεις με αγελαδοτρόφους προέκυψε ότι μία τέτοια κτηνοτροφική εγκατάσταση καταναλώνει από 500-1000kWh το μήνα.

Βιομηχανικό σφάγειο

Στο βιομηχανικό σφαγείο καταναλώνεται ηλεκτρική ενέργεια για την λειτουργία ψυγείων , καταψύξεων και πιθανότατα για την λειτουργία καμερών για την συνεχή παρακολούθηση των ζώων. Από προσωπικές συνεντεύξεις με ιδιοκτήτες βιομηχανικών σφαγείων ότι μία τέτοια μονάδα που παράγει 700 τόνους κρέας , για να λειτουργήσει, απαιτεί ενέργεια 3000-3500 kWh/μήνα.

Καλλιέργεια αραβόσιτου

Στην καλλιέργεια αραβόσιτου καταναλώνονται 50m^3 νερού για την κάλυψη των αναγκών μιας έκτασης 100 στρεμμάτων. Για την κάλυψη των αναγκών σε άρδευση καταναλώνονται περίπου 8000kWh για 3 μήνες το έτος.

Κατοικία ιδιοκτητών

Στην κατοικία των ιδιοκτητών πάρθηκε ως δεδομένο ότι η μέση κατανάλωση ενός νοικοκυριού ανέρχεται στις 6000 kWh/έτος. Λόγω του ότι οι ενεργειακές ανάγκες σε ρεύμα ενός μέσου νοικοκυριού 4 ατόμων ανέρχεται σε 5000 - 7000 kWh/έτος.

2.2. Προτεινόμενη εφαρμογή Α.Π.Ε.

Για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών, προτείνονται τα εξής :

- Τα Φ/Β στοιχεία να καλύψουν τα 2/3 των ενεργειακών αναγκών και
- Οι Α/Γ να καλύψουν το 1/3 των ενεργειακών αναγκών

Αυτό προέκυψε για δύο κυρίως λόγους :

- λόγω κόστους, καθώς το αρχικό κόστος εγκατάστασης των ανεμογεννητριών είναι υψηλότερο από ότι το κόστος των φωτοβολταϊκών στοιχείων
- λόγω της περιοδικότητας των ανέμων

2.2.1. Μεθοδολογία διαστασιολόγησης για τα φωτοβολταϊκα στοιχεία

Για τα φωτοβολταϊκά πλαίσια χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Sunny Design της εταιρείας SMA. Το Sunny Design είναι ένα δωρεάν λογισμικό που έχει τη δυνατότητα να σχεδιάσει τις φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις. Παράλληλα με τον τεχνικό έλεγχο των διαφόρων εξαρτημάτων, το λογισμικό παρέχει επίσης δεδομένα για την οικονομική αξιολόγηση της εγκατάστασης.(http://www.smahellas.com/el/proionta/logismiko/sunny-design.html).

Χρησιμοποιήθηκε το Complete Package επειδή αυτό περιλαμβάνει ήδη όλα τα γεωγραφικά δεδομένα για πολλές τοποθεσίες, ανάμεσα στις οποίες είναι και η Θεσσαλονίκη.

Σύμφωνα με τους όρους που ισχύουν, η εγκατάσταση πρέπει να παρέχει τριφασικό ρεύμα στο δίκτυο. Συνεπώς, θα επιλεγούν είτε τέσσερις μονοφασικοί μετατροπείς είτε ένας τριφασικός. Στην περίπτωσή μας επιλέγονται τέσσερις μονοφασικοί μετατροπείς. Ο μικρότερος τριφασικός μετατροπέας της SMA είναι ο Sunny Tripower STP10000TL, ο οποίος έχει ως χαρακτηριστικό του την πολύ υψηλή απόδοση. Το λογισμικό δείχνει ότι ο συγκεκριμένος

συνδυασμός πάνελ – μετατροπέα είναι συμβατός, και το σύστημα λειτουργεί κανονικά.

2.2.2. Μεθοδολογία διαστασολόγησης για τις ανεμογεννήτριες

Για να καλυφθεί το υπόλοιπο των ενεργειακών αναγκών του αγροκτήματος, προτείνεται η εγκατάσταση ανεμογεννητριών για το σκοπό αυτό, χρησιμοποιήθηκαν τα δόκιμα υπολογιστικά στοιχεία που μας δίνουν την ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ανεμογεννήτριες.

Η παραγωγή ενέργειας από Α/Γ προκύπτει από τον ακόλουθο τύπο (Αραβαντινός κ.α.,1997):

$E = N * K * A * V_{\mu}^3$ όταν $V_{\varepsilon} \leq V_{\mu} \geq V_{\alpha}$

Όπου :

E : ετήσια ηλεκτρική ενέργεια
N : αριθμός ομοειδών ανεμογεννητριών
K : συντελεστής
V_{μ} : μέση τιμή του ανέμου σε m/s
A : επιφάνεια σάρωσης σε m^2
V_{ε}: ταχύτητα έναρξης
V_{α} : ταχύτητα αποκοπής

2.3. Οικονομική ανάλυση με τη μέθοδο της παρούσας αξίας

Μεθοδολογία

Για την πιο αντιπροσωπευτική απεικόνιση των αποτελεσμάτων, χρησιμοποιήθηκε η Παρούσα Αξία (στην οποία το επιτόκιο ήταν 6% το 2010).

ο τύπος της Παρούσας Αξίας είναι :

$Π.Α. = K_n / (1+i)^n$

Όπου
Kn : τα ετήσια οφέλη του συστήματος στο έτος n

i : το επιτόκιο (6%)

n : το έτος

(Παπαναγιώτου Ε., 2003)

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ

3.1. Ανάγκες σε ενέργεια

Επειδή τα δεδομένα που συλλέχθηκαν οδηγούν σε μια πολύ μεγάλη διακύμανση τιμών καταναλώσεων, γι' αυτό προτιμήθηκε να καλυφθούν οι ενεργειακές ανάγκες μιας εικονικής εγκατάστασης, βασισμένη σε μέσους όρους.

Οι συνολικές ενεργειακές ανάγκες καταναλώσεων προέκυψαν από το άθροισμα των επιμέρους ενεργειακών καταναλώσεων της κατοικίας ιδιοκτητών, του σφαγείου, της καλλιέργειας αραβοσίτου και της κτηνοτροφικής εγκατάστασης, όπως φαίνεται στον Πίνακα 1.

Πίνακας 1. Καταναλισκόμενη Ενέργεια

Κατοικία Ιδιοκτητών	
Επιφάνεια τ.μ.	100τ.μ.
Ετήσιες ενεργειακές ανάγκες	6000kWh/έτος
Κτηνοτροφική Εγκατάσταση	
Επιφάνεια τ.μ.	100 τ.μ.
Ετήσιες ενεργειακές ανάγκες	Για 10 αγελάδες γαλακτοπαραγωγής 10000kWh/έτος
Σφαγείο	
Ετήσια παραγωγή κρέατος	700tn
Ετήσιες ενεργειακές ανάγκες	36000kWh/έτος
Καλλιέργεια αραβοσίτου	Έκταση 15 στρ.
Ετήσιες ενεργειακές ανάγκες για άρδευση	8000kWh/έτος
Συνολικές ενεργειακές ανάγκες	60000kWh/έτος

3.2. Φωτοβολταικα στοιχεία – ανεμογεννήτριες

3.2.1. Φωτοβολταϊκά

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα που πάρθηκαν από τη χρησιμοποίηση του λογισμικού, φαίνεται ότι όλα λειτουργούν ομαλότατα, με την αποδοτικότητα του μετατροπέα να είναι στο 97,4% και το σύστημα συνολικά να αποδίδει 52267 kWh/έτος. Με την τιμή 0,45€/kWh , αποφέρει 52.267*0,45=23.520 €/έτος.(η τιμή πάρθηκε για το έτος 2010 και από το Ν3851/10 ΦΕΚ85Α).

Η διάταξη και η τοποθέτηση του Συστήματος θα γίνει στο νότιο τμήμα του αγροκτήματος έτσι ώστε να είναι εκμεταλλεύσιμη στον μέγιστο βαθμό η ηλιοφάνεια της περιοχής . Θα αποτελείται από δύο στοιχειοσειρές για κάθε έναν από τους 4 μετατροπείς , η κάθε μία από τις οποίες έχει 24 δομοστοιχεία, και οι συνολικές διαστάσεις του συστήματος θα είναι 24 μέτρα μήκος και 2*1,66 = 3,32 μέτρα σε ύψος για κάθε έναν από τους μετατροπείς , με κλίση 25° , κατά τα στοιχεία του λογισμικού Sunny Design.

Για την τοποθέτηση των τεσσάρων στοιχειοσειρών του κάθε μετατροπέα θα χρειαστούν 100 μέτρα μήκος (μέσα σε αυτό το μήκος περιλαμβάνονται δύο μέτρα απόσταση ανάμεσα στα συστήματα των στοιχειωσειρών) και ύψος 3,32 μέτρα.

Σύμφωνα με τον πίνακα 1, οι συνολικές ενεργειακές καταναλώσεις σε ενέργεια τόσο των εγκαταστάσεων όσο και της καλλιέργειας ανέρχονται στις 60000kWh/έτος. Όπως ήδη αναφέρθηκε, προτιμήθηκε να καλυφθούν τα 2/3 των συνολικών ενεργειακών καταναλώσεων από τα φωτοβολταϊκά στοιχεία (δηλαδή 40000kWh/έτος). Για την επίτευξη των στόχων που τέθηκαν θα χρειαστεί να χρησιμοποιηθούν τέσσερις μετατροπείς ο καθένας από τους οποίους θα ελέγχει μία διπλή σειρά από φωτοβολταϊκά πλαίσια. Κάθε μία από τις διπλές σειρές θα αποτελείται από 24 φωτοβολταϊκά πλαίσια. Οπότε σε κάθε μετατροπέα θα αντιστοιχούν 48 φωτοβολταϊκά πλαίσια (σύμφωνα με το λογισμικό, η επάνω σειρά θα αποτελείται από 24 φωτοβολταϊκά πλαίσια και η κάτω σειρά από 23, όπου καθαρά για αισθητικούς λόγους θεωρήθηκε ότι και στην κάτω σειρά θα έγκατασταθούν 24 φωτοβολταϊκά πλαίσια). Ανάμεσα στις διπλές σειρές των πλαισίων αφέθηκαν 2 μέτρα κενό για την ασφάλεια των πλαισίων. Με βάση τη συγκεκριμένη διάταξη σύμφωνα με το λογισμικό Sunny Design, τα 192 φωτοβολταϊκά πλαίσια σε σύνολο παράγουν52266,8 kWh/έτος κατά προσέγγιση. Δηλαδή όχι μόνο καλύφθηκαν οι ενεργειακές ανάγκες που είχαμε θέσει ως στόχο στο ξεκίνημα της μελέτης, αλλά παράλληλα δίνεται και η δυνατότητα στον ιδιοκτήτη του συγκεκριμένου αγροκτήματος να επωφεληθεί περισσότερο, παραχωρώντας και τις εναπομείναντες kWh στην ΔΕΗ.

3.2.2. Ανεμογεννήτριες

Πάρθηκε ότι η ταχύτητα έναρξης λειτουργίας είναι $V_ε$ = 4m/s (η ταχύτητα αυτή προέκυψε από τον μ.ο. των ταχυτήτων του ανέμου από την Ε.Μ.Υ. τόσο από τον σταθμό της Μίκρας όσο και από της Θεσσαλονίκης γενικότερα) , η ταχύτητα αποκοπής είναι $V_α$ = 25m/s και η μέση ταχύτητα είναι $V_μ$ = 4,5m/s. Η ακτίνα R = 3,5m και το K = 2,5. (ΕΜΥ 2010)

Από τις ενεργειακές καταναλώσεις του πίνακα 1, προτιμήθηκε να καλυφθεί το 1/3 των συνολικών ενεργειακών αναγκών (δηλαδή 20000 kWh/έτος). Η συγκεκριμένη απόφαση πάρθηκε κυρίως λόγω του μεγάλου κόστους τόσο της αγοράς όσο και της εγκατάστασης μιας ανεμογεννήτριας σε σύγκριση με ένα φωτοβολταϊκό πλαίσιο.

Οπότε για N = 1 :

$A = π*R^2 = 3,14 * (3,5)^2 = 38,46m^2$

E = 1 * 2,5 * 38,46 * 91,125 = 8.762 kWh/έτος

Για N = 3 :

E = 3 * 2,5 * 38,46 * 91,125 = 26.286 kWh/έτος, αποφέρει 26.286*0.25=6571.5€/έτος.

Με τη χρησιμοποίηση του κατάλληλου μαθηματικού τύπου που υπολογίζεται η συνολική ενεργειακή απόδοση της ανεμογεννήτριας, εξήχθη ως αποτέλεσμα ότι μία ανεμογεννήτρια με ακτίνα R = 3,5m μπορεί να δώσει ετησίως 8.762kWh. Συνεπώς με την τοποθέτηση τριών ομοειδών ανεμογεννητριών δίνεται η δυνατότητα να υπερκαλυφθούν οι υπολειπόμενες ανάγκες του αγροκτήματος, καθώς με τις τρεις ανεμογεννήτριες μπορούν να παραχθούν μέχρι και 26.286kWh/έτος.

3.2.3. Κοστολόγηση και χρόνος Απόσβεσης της Επένδυσης

Από τη διαστασιολόγηση των φωτοβολταικών και των ανεμογεννητριών υπολογίζεται το αρχικό κόστος της εγκατάστασης :

3 Α/Γ : 30.000 Χ 3 = 90.000€ (τρέχουσες τιμές της αγοράς, έτος 2010)

Φ/Β: 420 Χ190 = 79.800€

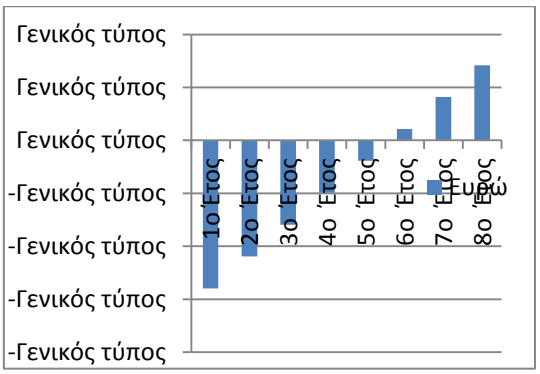
Σύνολο : 169.800€

Στον επόμενο πίνακα φαίνονται συγκεντρωμένα τα αποτελέσματα της επένδυσης από το 1ο έτος μέχρι και το 8ο έτος. Από το 6ο έτος και μετά αρχίζει να πραγματοποιείται η απόσβεση του κεφαλαίου που χρησιμοποιήθηκε για τις εγκαταστάσεις και την απόκτηση ετήσιου εισοδήματος.

Πίνακας 2. Αποτελέσματα από την οικονομική ανάλυση με τη μέθοδο της Παρούσας Αξίας

	Έσοδα (€)			
	1ο Έτος	2ο Έτος	3ο Έτος	4ο Έτος
Κόστος Συστήματος (€)				
169.800	-139709	-109617	-79525	-49433
Ετήσια Οφέλη Συστήματος (€)				
30.092				

	Έσοδα (€)			
Κόστος Συστήματος (€)	5ο Έτος	6ο Έτος	7ο Έτος	8ο Έτος
169.800				
Ετήσια Οφέλη Συστήματος (€)	-19341	10751	40843	70935
30.092				



Σχήμα 1. Το πραγματικό κέρδος για το 6ο έτος που ξεκινάει το κέρδος της επένδυσης υπολογίστηκε ως εξής:

Π.Α. $= K_n/ (1+i)^n = 10751/(1+0.06)^6 = 7.852€$

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα συμπεράσματα που προέκυψαν έδειξαν: α) ότι είναι δυνατή η κάλυψη των ενεργειακών αναγκών του πρότυπου αγροκτήματος με τη χρήση ανεμογεννητριών και φωτοβολταϊκών με αποτέλεσμα να είναι σημαντική η εξοικονόμηση ενέργειας σε συμβατικούς πόρους και β) ότι είναι οικονομικά βιώσιμη μία τέτοια επένδυση.

Συνεπώς προκύπτει ότι είναι δυνατή η κάλυψη των ενεργειακών αναγκών του πρότυπου αγροκτήματος με τη χρήση ανεμογεννητριών και φωτοβολταϊκών με αποτέλεσμα να είναι σημαντική η εξοικονόμηση ενέργειας σε συμβατικούς πόρους και να είναι οικονομικά βιώσιμη μία τέτοια επένδυση.

Acknowledgements

This research paper has been conducted in the context of the GREEN-AgriChains project that is funded from the European Community's Seventh Framework Programme (FP7-REGPOT-2012-2013-1) under Grant Agreement No. 316167. All the above reflect only the authors' views; the European Union is not liable for any use that may be made of the information contained herein.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Αραβαντινός,Α., Βλαστός,Θ., Εμμανουήλ,Δ., Μαρίνος – Κουρής,Δ., Σκίνος,Γ., Σμπόνιας,Κ., Τσούτσος,Θ., 1997. Εισαγωγή στο Φυσικό και Ανθρωπογενές Περιβάλλον , εκδόσεις Ελληνικό Ανοιχτό Πανεπιστήμιο , Πάτρα

Μαρτζόπουλος, Γ. , 2008. Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας , εκδόσεις Τμήμα Εκδόσεων , Πανεπιστημιακό Τυπογραφείο , Θεσσαλονίκη

Παπαναγιώτου,Ε. ,2003. Γεωργική Μακροοικονομία και Συγκριτική Ανάλυση Γεωργίας, Εκδόσεις Γράφημα, Θεσσαλονίκη

Πηγές Διαδικτύου:

Ν3851/10 ΦΕΚ85Α : http://www.rae.gr/old/SUB2/2_4.htm#N. 3851/10

Οδηγία 2009/28/Ε.Κ : http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:140:0016:0062:el:PDF

http://www.ypeka.gr/Default.aspx?tabid=446

ΕΜΥ 2010: (http://www.hnms.gr/hnms/greek/climatology/climatology_region_diagrams_html?dr_city=Thessaloniki_Mikra)

Λογισμικό Sunny Design: http://www.sma-hellas.com/el/proionta/logismiko/sunny-design.html

ΜΕΛΕΤΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΔΡΟΣΙΣΜΟΥ ΜΕ ΤΕΧΝΙΤΗ ΟΜΙΧΛΗ ΣΕ ΔΙΧΤΥΟΚΗΠΙΟ ΠΑΧΥΝΣΗΣ ΣΑΛΙΓΚΑΡΙΩΝ

Νικόλαος Κατσούλας[1], Κωνσταντίνος Αποστόλου[2], Μαριάνθη Χατζηϊωάννου[2], Σταυρούλα Αϋφαντή[2], Χρήστος Νεοφύτου[2], Κωνσταντίνος Κίττας[1]

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, [1]Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παρ/γής και Αγρ. Περιβάλλοντος, [2]Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Οδός Φυτόκου, 38446, Βόλος

Η εκτροφή σαλιγκαριών έχει μεγάλη οικονομική σημασία αλλά για την ανάπτυξη των σαλιγκαριών απαιτούνται συγκεκριμένα επίπεδα θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας του αέρα και ηλιακής ακτινοβολίας στο περιβάλλον εκτροφής τους. Έτσι, για την ταχύτερη πάχυνση των σαλιγκαριών απαιτείται ένα ήπιο κλίμα με θερμοκρασία αέρα μεταξύ 20ºC και 25ºC και σχετική υγρασία αέρα μεταξύ 75% και 95%, ενώ παράλληλα η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας πρέπει να είναι χαμηλή. Τα παραπάνω επίπεδα συνθηκών δεν μπορούν να επιτευχθούν στον ανοιχτό αγρό στις περισσότερες περιοχές της Ελλάδος. Παρόλα αυτά, οι παραπάνω συνθήκες θα μπορούσαν να επιτευχθούν για μεγάλο διάστημα του έτους σε κατασκευές διχτυοκηπίων με ελεγχόμενες συνθήκες υγρασίας του αέρα. Για το σκοπό αυτό, στις εγκαταστάσεις του Τμήματος Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας (Εργαστήριο Ιχθυολογίας – Υδροβιολογίας) κατασκευάστηκε διχτυοκήπιο έκτασης 360 m^2. Στο διχτυοκήπιο εγκαταστάθηκαν δύο συστήματα ελέγχου της σχετικής υγρασίας του αέρα, ένα χαμηλής (6 atm) και ένα υψηλής πίεσης (50 atm) και έγιναν μετρήσεις της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας του αέρα και της ηλιακής ακτινοβολίας μέσα και έξω από το διχτυοκήπιο. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι με τη βοήθεια των συστημάτων αυτών η θερμοκρασία μπορούσε να παραμείνει στο διχτυοκήπιο σε επίπεδα χαμηλότερα των 25ºC, ακόμα και όταν στο εξωτερικό περιβάλλον επικρατούσαν θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 30ºC. Παράλληλα, τα συστήματα που εγκαταστάθηκαν ήταν δυνατό να διατηρήσουν στο χώρο του διχτυοκηπίου σχετική υγρασία μεγαλύτερη από 80%-85%.

Λέξεις κλειδιά: σαλιγκαροτροφία, ψύξη με εξάτμιση, σχετική υγρασία, θερμοκρασία, σκίαση

DESIGN AND PERFORMANCE TEST OF A FOG COOLING SYSTEM FOR HUMIDITY CONTROL IN SCREENHOUSES FOR SNAIL BREEDING

Nikolaos Katsoulas[1], Konstantinos Apostolou[2], Marianthi Xatzioannou[2], Stavroula Aifanti[2], Christos Neofytou[2], Constantinos Kittas[1]

University of Thessaly, [1]Dept of Agriculture Crop Production and Rural Environment, [2]Dept of Ichthyology and Aquatic Environment, Fytokou Str, 38446, Volos

Breeding of snails has great economic importance but for snail development specific levels of temperature and relative humidity, solar radiation are necessary. For faster fattening of snails a mild climate with air temperature between 20ºC and 25ºC and air relative humidity between 75% and 95% is required, while the intensity of solar radiation should be very low. The above conditions can not be achieved under open field conditions in most parts of Greece. However, these conditions could be achieved for most of the year in screenhouses with controlled air humidity conditions. For this purpose, in the premises of the Department of Ichthyology and Aquatic Environment, University of Thessaly (Laboratory of Ichthyology - Hydrobiology) a screenhouse of 360 m^2 was built equipped with two systems for air relative humidity control, a low (6atm) and a high (50 atm) pressure. Air temperature and relative humidity and solar radiation measurements were carried out inside and outside the screenhouses in order to characterise and evaluate the efficiency of the above systems to control the screenhouse temperature and humidity environment. It was found that the installed systems were able to maintain a screenhouse air temperature lower than 25ºC and a humidity level lower higher than 85% even when the outside air temperature was higher than 30ºC.

Keywords: evaporative cooling, relative humidity, temperature, shading

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το σαλιγκάρι αποτελεί τρόφιμο το οποίο καταναλώνεται από εκατομμύρια ανθρώπους σε ολόκληρο τον κόσμο (Jess & Marks 1998, Murphy 2001, Milinsk et al. 2006). Οι πιο σημαντικοί καταναλωτές του είναι οι κάτοικοι της Ευρώπης, με κυριότερη τη Γαλλία (Ogozul et al. 2005). Η εκτροφή σαλιγκαριών, έχει μεγάλη οικονομική σημασία και απαιτεί μια αξιόλογη επένδυση σε χρόνο, εξοπλισμό, και πόρους (Begg & Mcinness 2003).

Ο ρυθμός αύξησης του βάρους των σαλιγκαριών εξαρτάται, πέρα από την πυκνότητα του πληθυσμού και το σιτηρέσιο, κυρίως από τις κλιματικές συνθήκες (θερμοκρασία – υγρασία - ακτινοβολία). Για την πάχυνση των σαλιγκαριών απαιτείται ένα ήπιο κλίμα με μέτρια θερμοκρασία (20-25°C) σε συνδυασμό με υψηλή υγρασία (75-95%) (Murphy 2001), αν και τα περισσότερα είδη μπορούν να διαβιώσουν σε ένα ευρύτερο φάσμα θερμοκρασιών (5-30ºC) (Bailey 1981, Iglesias et al. 1996). Όταν η θερμοκρασία μειώνεται στους 5°C, τα σαλιγκάρια περνούν σε χειμέρια νάρκη, ενώ μεταξύ 5°C έως 15°C, περιορίζεται πολύ η ανάπτυξή τους. Σε συνθήκες υψηλής θερμοκρασίας και χαμηλής ατμοσφαιρικής υγρασίας, σφραγίζουν το στόμιο του κελύφους με μια μεμβράνη, το επίφραγμα και

περνούν σε κατάσταση διάπαυσης (θερινή νάρκη) όπου και σταματούν να αναπτύσσονται.

Στη Γαλλία, στην Ιταλία, στην Ισπανία, αλλά και στην Αυστραλία έχουν αναπτυχθεί μέθοδοι εκτατικής και εντατικής εκτροφής σαλιγκαριών (Elmslie 1989, Igglessias et al. 1996, Begg & Mcinness 2003). Τα κυριότερα συστήματα εκτροφής είναι τρία: (α) ανοιχτού τύπου ή μη ελεγχόμενη, (β) κλειστού τύπου ή πλήρως ελεγχόμενη και (γ) μεικτού τύπου. Ο ανοιχτός τύπος εκτροφής, ή ιταλικού τύπου, είναι ο πιο παλιός και γίνεται στον ανοιχτό αγρό με πολύ μικρές απαιτήσεις σε εγκαταστάσεις και εξοπλισμό για την εκτροφή. Στην περίπτωση αυτή ο κύκλος παραγωγής διαρκεί 18 έως 24 μήνες, καθώς δεν υπάρχει καμία δυνατότητα ελέγχου του περιβάλλοντος ανάπτυξης των ζώων. Όμως, η υψηλή θερμοκρασία και η χαμηλή σχετική υγρασία στα ανοιχτά εκτροφεία, συνθήκες οι οποίες εμφανίζονται στην Ελλάδα, κυρίως από τον Απρίλιο και μετά, μπορεί να προκαλέσει την πλήρη παύση των δραστηριοτήτων των ζώων (Attia 2004).

Στα εκτροφεία κλειστού τύπου ο πληθυσμός των σαλιγκαριών είναι προστατευμένος από θηρευτές και η παραγωγή είναι σε υψηλότερα επίπεδα σε σχέση με τα εκτροφεία ανοικτού τύπου.

Το μειονέκτημα της κλειστού τύπου εκτροφής, είναι το υψηλό κόστος παραγωγής, που την καθιστά οικονομικά ασύμφορη (Λαζαρίδου-Δημητριάδου & Κάπουλας 1985).

Ο μεικτός τύπος εκτροφής έχει στοιχεία από τους δύο προηγούμενους τύπους (τον ανοιχτό και τον κλειστό τύπο) και είναι οικονομικά βιώσιμος (Issari et al., 2011). Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή, τα σαλιγκάρια μπορούν να γεννηθούν και να εκκολαφθούν μέσα σε ένα ελεγχόμενο περιβάλλον και στη συνέχεια να μεταφερθούν σε διχτυοκήπια για την πάχυνση.

Παρόλα αυτά, τα διχτυοκήπια που έχουν αναπτυχθεί μέχρι σήμερα στη χώρα μας για την πάχυνση των σαλιγκαριών δε διαθέτουν συστήματα ελέγχου της θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας του αέρα και έτσι δεν είναι δυνατή η χρήση τους καθ' όλη τη διάρκεια της περιόδου όπου επικρατούν θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 15ºC.

Ένα τέτοιο σύστημα θα μπορούσε να είναι αυτό της ψύξης με εξάτμιση, με ψεκασμό νερού στο χώρο του διχτυοκηπίου σε υψηλή ή χαμηλή πίεση. Τα συστήματα δροσισμού με τεχνητή ομίχλη έχουν δοκιμασθεί και λειτουργούν με επιτυχία για τον έλεγχο της θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας των θερμοκηπίων (Arbel et al. 1999, Katsoulas et al. 2011, 2007).

Έτσι, στόχος της εργασίας αυτής ήταν η ανάπτυξη ενός συστήματος ελέγχου της θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας του αέρα των διχτυοκηπίων και η δοκιμή του σε πραγματικές συνθήκες κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1 Το διχτυοκήπιο

Το διχτυοκήπιο κατασκευάστηκε από μεταλλικό σκελετό σχήματος τροποποιημένου τοξωτού και αποτελούνταν από δύο ενωμένα κατά μήκος μεταξύ τους τμήματα μήκους 22.5 m και πλάτους 8 m. Έτσι, η συνολική καλυμμένη έκταση του εδάφους ήταν 360 m^2. Το ύψος διχτυοκηπίου στην υδρορροή ήταν 3.2 m και το ύψος της κορυφής είναι 4.2 m.

Η κάλυψη πραγματοποιήθηκε με δίχτυ σκίασης μαύρου χρώματος από πολυπροπυλένιο, με ποσοστό σκίασης μεγαλύτερο από 90%. Περιμετρικά του διχτυοκηπίου και μέχρι ύψος 0.9m τοποθετήθηκε λαμαρίνα (βάθος 0.2 m) για την αποτροπή εισόδου τρωκτικών και ερπετών, τα οποία είναι εχθροί των σαλιγκαριών.

Για τον έλεγχο της υγρασίας του αέρα στο χώρο του διχτυοκηπίου εγκαταστάθηκαν δύο συστήματα: α) Σύστημα χαμηλής (6 atm) πίεσης και β) σύστημα υψηλής (50 atm) πίεσης.

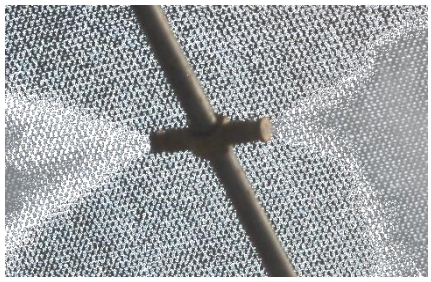
Το σύστημα υψηλής πίεσης λειτουργεί σε πίεση 50 atm και δημιουργεί σταγόνες διαμέτρου 40-50 μm οι οποίες, λόγω του χαμηλού βάρους τους, παραμένουν στον αέρα και εξατμίζονται πριν πέσουν στο έδαφος. Σε αντίθεση, το σύστημα χαμηλής πίεσης λειτουργεί σε πίεση 5 atm και δημιουργεί σταγόνες μεγαλύτερης διαμέτρου (> 200 μm) οι οποίες, λόγω του μεγάλου βάρους τους, πέφτουν στο έδαφος πριν προλάβουν πλήρως να εξατμισθούν.

Το σύστημα χαμηλής πίεσης αποτελούνταν από αντλία και πιεστικό νερού το οποίο διατηρεί την πίεση στο δίκτυο μεταξύ 4-6 atm. Το νερό διοχετεύονταν από την αντλία στα μπεκ με σύστημα σωληνώσεων αντοχής πίεσης τουλάχιστον 6 atm. Τα μπεκ είχαν παροχή 5.5 L h^{-1} το καθένα και τοποθετήθηκαν σε τετράδα (Σχήμα 1). Σε κάθε μονάδα πλάτους 8 m του διχτυοκηπίου ήταν τοποθετημένες δύο γραμμές μπεκ. Οι τετράδες των μπεκ ήταν τοποθετημένες ανά 1.5 m κατά μήκος της κάθε γραμμής. Έτσι, στο υπό μελέτη διχτυοκήπιο τοποθετήθηκαν 60 τετράδες, δηλαδή 240 μπεκ συνολικά (περίπου 170 τετράδες ανά στρέμμα), με μέση παροχή του συστήματος για το διχτυοκήπιο 3.667 L m^{-2} h^{-1}. Το σύστημα λειτουργούσε κατά το διάστημα 10:00 – 19:00 για 2 δευτερόλεπτα κάθε λεπτό. Λαμβάνοντας υπόψη το χρόνο λειτουργίας του συστήματος, η μέγιστη ημερήσια κατανάλωση νερού ήταν 1.1 L m^{-2}.

Σχήμα 1. Άποψη της τετράδας των μπεκ του συστήματος χαμηλής πίεσης.

Το σύστημα υψηλής πίεσης αποτελούνταν από αντλία η οποία διατηρούσε την πίεση στο δίκτυο μεταξύ 40-60 atm. Το νερό διοχετεύονταν από την αντλία στα μπεκ με σύστημα ανοξείδωτων σωληνώσεων αντοχής σε πίεση τουλάχιστον 100 atm. Τα μπεκ είχαν παροχή 4 L h^{-1}. Σε κάθε μονάδα πλάτους 8 m είχε εγκατασταθεί μία γραμμή με 2 μπεκ

(Σχήμα 2) για κάθε 1.5 m μήκους σωλήνα (περίπου 250 μπεκ ανά στρέμμα) με μέση παροχή του συστήματος για το διχτυοκήπιο 0.622 L m^{-2} h^{-1}. Το σύστημα λειτουργούσε με βάση ηλεκτρονικό αισθητήρα σχετικής υγρασίας και ενεργοποιούνταν κατά το διάστημα 9:00 – 21:00 για 55 δευτερόλεπτα κάθε λεπτό, όταν η σχετική υγρασία του αέρα ήταν μικρότερη από 90%. Λαμβάνοντας υπόψη το χρόνο λειτουργίας του συστήματος, η μέγιστη ημερήσια κατανάλωση νερού ήταν 5.7 L m^{-2}.



Σχήμα 2. Άποψη των μπεκ του συστήματος υψηλής πίεσης.

2.2 Μετρήσεις

Προκειμένου να μελετηθεί η αποτελεσματικότητα των δύο συστημάτων στον έλεγχο του μικροκλίματος του διχτυοκηπίου, εγκαταστάθηκαν δύο μετεωρολογικοί σταθμοί, ένας εσωτερικά και ένας εξωτερικά του διχτυοκηπίου και έγιναν μετρήσεις κατά το διάστημα του καλοκαιριού του 2011. Μέσα στο διχτυοκήπιο μετρούνταν η θερμοκρασία και σχετική υγρασία του αέρα με τη βοήθεια αισθητήρων θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας (Hobo Microstation, model H21-002, OnSet Instruments, Bourne, MA, USA), καθώς και η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας με τη βοήθεια πυρανομέτρου (Decagon, USA). Έξω από το διχτυοκήπιο μετρούνταν, εκτός των παραπάνω, η ταχύτητα και διεύθυνση του ανέμου (Thies Clima, Germany). Οι μετρήσεις λαμβάνονταν κάθε 10 λεπτά και η μέση τιμή ανά 10 λεπτά καταγραφόταν σε καταγραφικό δεδομένων.

Τέλος, με τη βοήθεια υδρομέτρου γινόταν η καταγραφή της παροχής νερού στα δύο συστήματα δροσισμού του θερμοκηπίου.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Προκειμένου να βρεθεί η επίδραση των συστημάτων δροσισμού στο μικροκλίμα του διχτυοκηπίου, στα αποτελέσματα συγκρίνονται ημέρες με ή χωρίς τα συστήματα δροσισμού σε λειτουργία. Έστι, παρουσιάζονται αποτελέσματα 2 χαρακτηριστικών ημερών της περιόδου, μιας ημέρας χωρίς τα συστήματα δροσισμού σε λειτουργία (15 Αυγούστου) και μιας ημέρας με τα συστήματα δροσισμού σε λειτουργία (9 Αυγούστου). Οι εξωτερικές κλιματικές συνθήκες κατά τη διάρκεια των δύο παραπάνω ημερών ήταν παρόμοιες, όπως παρουσιάζονται στον Πίνακα 1.

Το δίχτυ που χρησιμοποιήθηκε για την κάλυψη του διχτυοκηπίου μείωσε την είσοδο της ακτινοβολίας σε μεγάλο βαθμό καθώς ο συντελεστής διαπερατότητας του διχτυοκηπίου στην ηλιακή ακτινοβολία, ο οποίος υπολογίστηκε από το λόγο της εισερχόμενης (Πίνακας 2) προς την προσπίπτουσα (Πίνακας1) ακτινοβολία, ήταν της τάξης του 5.5%.

Πίνακας 1. Μέσες τιμές κλιματικών παραμέτρων έξω από το διχτυοκήπιο κατά το διάστημα 9:00 – 21:00 των δύο χαρακτηριστικών ημερών.

	T	RH	SR	WS
	°C	%	MJ m^{-2} d^{-1}	m s^{-1}
9 Αυγ	31.2	49	24.58	1.9
15 Αυγ	30.8	42	22.91	2.0

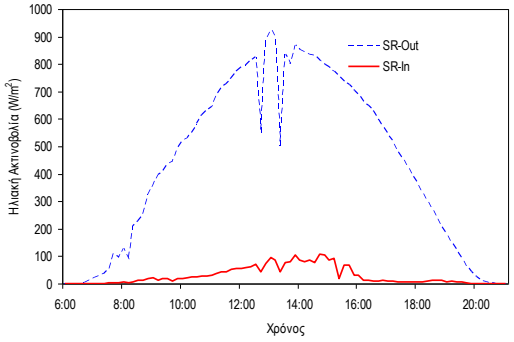
T: θερμοκρασία αέρα, RH: σχετική υγρασία αέρα, SR: ηλιακή ακτινοβολία

Πίνακας 2. Μέσες τιμές κλιματικών παραμέτρων στο εσωτερικό του διχτυοκηπίου κατά το διάστημα 9:00 – 21:00 των δύο χαρακτηριστικών ημερών με (9 Αυγούστου) ή χωρίς (15 Αυγούστου) δροσισμό.

	T	RH	SR
	°C	%	MJ m^{-2} d^{-1}
9 Αυγ	25.6	91	1.74
15 Αυγ	30.9	43	1.49

T: θερμοκρασία αέρα, RH: σχετική υγρασία αέρα, SR: ηλιακή ακτινοβολία

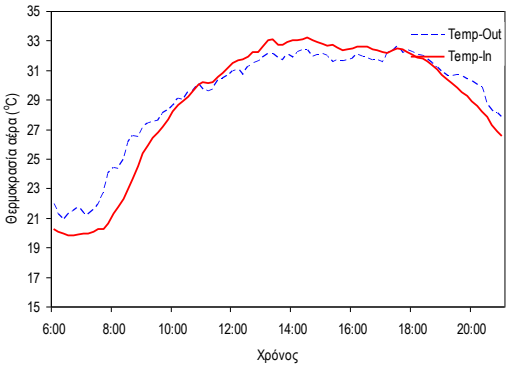
Η πορεία των τιμών της εισερχόμενης και της προσπίπτουσας ακτινοβολίας κατά το διάστημα μιας ημέρας (15 Αυγούστου 2011) της περιόδου των μετρήσεων παρουσιάζεται στο Σχήμα 1. Οι απότομες διακυμάνσεις στις τιμές της εισερχόμενης ακτινοβολίας κατά τη διάρκεια της ημέρας, όπου η εξωτερική ακτινοβολία ήταν ομαλή, οφείλονται στις σκιάσεις που προκαλούνται στον αισθητήρα ακτινοβολίας από το σκελετό του διχτυοκηπίου. Φαίνεται ότι ενώ η ηλιακή ακτινοβολία έξω από το διχτυοκήπιο λάμβανε τιμές κοντά στα 900 W m^{-2} κατά το διάστημα του μεσημεριού, στο εσωτερικό του διχτυοκηπίου το ίδιο χρονικό διάστημα η ηλιακή ακτινοβολία δεν ξεπερνούσε τα 100 W m^{-2}. Οι τιμές αυτές τις ακτινοβολίας μπορούν να θεωρηθούν κοντά στις ιδανικές τιμές για τα σαλιγκάρια, καθώς η ηλιακή ακτινοβολία κατά τη διάρκεια μιας συννεφιασμένης ημέρας κυμαίνεται σε επίπεδα μικρότερα των 100 W m^{-2}.



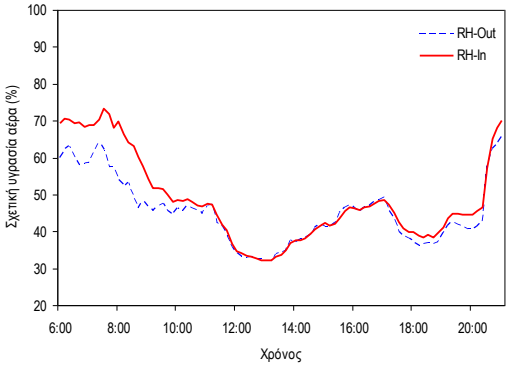
Σχήμα 1. Ημερήσια πορεία των τιμών της ηλιακής ακτινοβολίας μέσα και έξω από το διχτυοκήπιο κατά τη διάρκεια μιας καλοκαιρινής ημέρας (15 Αυγούστου 2011).

Η θερμοκρασία στο εσωτερικό του διχτυοκηπίου, κατά τη διάρκεια της περιόδου όπου το σύστημα δροσισμού δεν ήταν σε λειτουργία, ήταν παρόμοια ή

μεγαλύτερη από αυτή του εξωτερικού αέρα (Σχήμα 2). Όπως προκύπτει από τους Πίνακες 1 και 2, στις 15 Αυγούστου, ημέρα κατά την οποία δεν λειτουργούσαν τα συστήματα δροσισμού, η μέση τιμή της θερμοκρασίας έξω από το διχτυοκήπιο ήταν 30.8ºC ενώ μέσα στο διχτυοκήπιο ήταν 30.9ºC. Παράλληλα, οι αντίστοιχες τιμές της σχετικής υγρασίας του αέρα ήταν 42% και 43% αντίστοιχα, με τις ελάχιστες τιμές σε επίπεδα κοντά στο 30% να παρουσιάζονται κατά τη διάρκεια του μεσημεριού (Σχήμα 3).



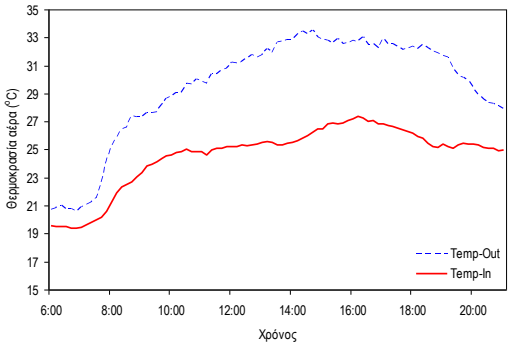
Σχήμα 2. Ημερήσια πορεία των τιμών της θερμοκρασίας μέσα και έξω από το διχτυοκήπιο κατά τη διάρκεια μιας καλοκαιρινής ημέρας (15 Αυγούστου 2011) όπου δεν λειτουργούσε το σύστημα δροσισμού.



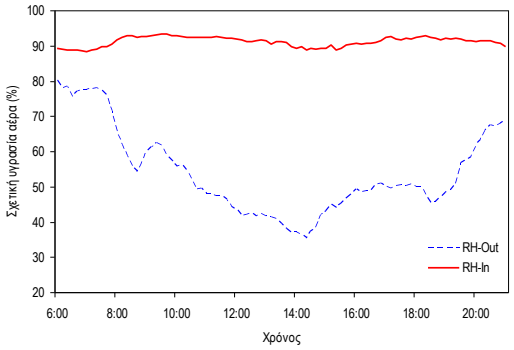
Σχήμα 3. Ημερήσια πορεία των τιμών της σχετικής υγρασίας του αέρα μέσα και έξω από το διχτυοκήπιο κατά τη διάρκεια μιας καλοκαιρινής ημέρας (15 Αυγούστου 2011) όπου δεν λειτουργούσε το σύστημα δροσισμού.

Η χρήση των συστημάτων δροσισμού οδήγησε σε σημαντική μείωση της θερμοκρασίας του αέρα στο εσωτερικό του διχτυοκηπίου σε σχέση με την θερμοκρασία του εξωτερικού αέρα. Η μέση τιμή της θερμοκρασίας του αέρα στο εσωτερικό του διχτυοκηπίου μειώθηκε κατά 5.7 ºC κατά τη διάρκεια της 9ης Αυγούστου (Πίνακες 1 και 2). Η τιμή της θερμοκρασίας στο εσωτερικό του διχτυοκηπίου δεν ξεπερνούσε τους 25ºC κατά το μεγαλύτερο διάστημα της ημέρας, ακόμα και όταν η θερμοκρασία έξω από το διχτυοκήπιο πλησίαζε στους 33 ºC (Σχήμα 4).

Η σχετική υγρασία του αέρα στο εσωτερικό του διχτυοκηπίου, όταν λειτουργούσε το σύστημα δροσισμού, διατηρήθηκε σε επίπεδα μεγαλύτερα του 85-90% καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας (Σχήμα 5).



Σχήμα 4. Ημερήσια πορεία των τιμών της θερμοκρασίας μέσα και έξω από το διχτυοκήπιο κατά τη διάρκεια μιας καλοκαιρινής ημέρας (9 Αυγούστου 2011) όπου λειτουργούσε το σύστημα δροσισμού.



Σχήμα 5. Ημερήσια πορεία των τιμών της σχετικής υγρασίας του αέρα μέσα και έξω από το διχτυοκήπιο κατά τη διάρκεια μιας καλοκαιρινής ημέρας (9 Αυγούστου 2011) όπου λειτουργούσε το σύστημα δροσισμού.

Για την επίτευξη των παραπάνω συνθηκών χρειάσθηκε να ψεκαστούν 3.45 L νερού ανά m^2 εδάφους στο εσωτερικό του διχτυοκηπίου καθ΄ όλη τη διάρκεια της ημέρας. Συνεπώς, καθώς η μέγιστη ημερήσια κατανάλωση νερού, αν το σύστημα λειτουργούσε πλήρως καθ΄ όλη τη διάρκεια της ημέρας, θα μπορούσε να είναι της τάξης του 5.7 $L\ m^{-2}$, φαίνεται ότι το σύστημα ήταν δυνατό να επιτύχει τις επιθυμητές συνθήκες χωρίς να λειτουργεί συνεχώς.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι, με την βοήθεια των συστημάτων δροσισμού που εγκαταστάθηκαν και χρησιμοποιήθηκαν, η θερμοκρασία του αέρα στο εσωτερικό του διχτυοκηπίου μπορούσε να παραμείνει στο διχτυοκήπιο σε επίπεδα χαμηλότερα των 25ºC ακόμα και όταν στο εξωτερικό περιβάλλον επικρατούσαν θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 30ºC. Παράλληλα, τα συστήματα που εγκαταστάθηκαν ήταν δυνατό να διατηρήσουν στο χώρο του διχτυοκηπίου σχετική υγρασία μεγαλύτερη από 80%-

85% εξασφαλίζοντας έτσι άριστες συνθήκες για την πάχυνση των σαλιγκαριών.

Βιβλιογραφία

Arbel, A., Yekutieli, O., Barak, M., 1999. Performance of a fog system for cooling greenhouse. J. Agr. Eng. Res., 72: 129-136.

Attia, J., 2004. Behavioural rhythms of land snails in the field. Biolog. Rhythm Res., 35: 35-41.

Bailey, S.E.R., 1981. Circannual and circadian rhythms in the snail *Helix aspersa* Miiller and the photoperiodic control of annual activity and reproduction. J. Compar. Physiol., 142: 89-94.

Begg, S., Mcinness, P., 2003. Farming edible snails - Lessons from Italy. Publication No. 03/137, Printed by Union Offset Printing, Canberra, Australia: 1-13.

Iglesias, J., Santos, M., Castillejo, J., 1996. Annual activity cycles of the land snail *Helix aspersa* (Muller) in natural populations in North-Western Spain. J. Molluscan Stud., 62: 495-505.

Issari, A., Hatziioannou, M., Neofitou, C., Aifanti, S., Matsiori, S., 2011. Economic viability study of *Helix aspersa* farms. 4th Int. Symposium on Hydrobiology and Fisheries, Volos, 9-11 June 2011.

Jess, S., Marks, R.J., 1998. Effect of temperature and photoperiod on growth and reproduction of *Helix aspersa* var. maxima. The J. Agric. Sci., 130: 367-372.

Katsoulas, N., Baille, A., Kittas, C., 2001. Effect of air misting on transpiration and bulk conductances of a greenhouse rose canopy. Agric. For. Meteorol., 106(3): 233-247.

Katsoulas, N., Kittas, C., Tsirogiannis, I. L., Kitta, E., Savvas D., 2007. Greenhouse microclimate and soilless pepper crop production and quality as affected by a fog evaporative cooling system. Trans. ASABE, 50(5): 1831-1840.

Milinsk, M.C., Padrea, R.G., Hayashib, C., Oliveiraa C.C., Visentainera, J.V., Evelazio de Souzaa, N., Matsushita, M., 2006. Effects of feed protein and lipid contents on fatty acid profile of snail (*Helix aspersa* maxima) meat. J. Food Composit. Anal., 19: 212–216.

Murphy, B., 2001. Breeding and growing snails commercially in Australia. A report for the Rural Industries Research and Development Corporation. RIRDC Publication No. 00-188. http://www.rirdc.gov.au/reports/NAP/00-188.htm.

Ozogul, Y., Ozogul, F., Ilkan Olgunoglu, A., 2005. Fatty acid profile and mineral content of the wild snail (*Helix pomatia*) from the region of the south of the Turkey. Europ. Food Res. Technol., 221: 547–549.

Λαζαρίδου-Δημητριάδου, Μ., Κάττουλας, Μ.Ε., 1985. Τα εδώδιμα και εμπορεύσιμα σαλιγκάρια της Ελλάδας – Σαλιγκαροτροφία. Γιαχούδη-Γιαπούλη Ο.Ε., Θεσσαλονίκη, σελ. 60 – 65.

ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΚΑΙ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΙΣΡΟΩΝ – ΕΚΡΟΩΝ ΣΕ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑ

Γ. Δασκαλάκη[1], Ν. Κατσούλας[2], Γ. Βλόντζος[2], Ι. Λιβιεράτος[1], M. Tchamitchian[4], Κ. Κίττας[2]
[1]Τμήμα Αειφόρου Γεωργίας, Μεσογειακό Αγρονομικό Ινστιτούτο Χανίων, Μακεδονίας 1, 73100, Χανιά, Κρήτη
[2]Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παρ/γής και Αγρ. Περ., οδός Φυτόκου, 38446, Βόλος
[3]INRA, Avignon, France

Στην θερμοκηπιακή παραγωγή σημαντικό στόχο αποτελεί τόσο ο περιορισμός των εισροών όσο και η αποτελεσματικότερη χρήση τους με σκοπό την βελτιστοποίηση του κέρδους των επιχειρήσεων. Εισροές μπορεί να είναι οποιοδήποτε αγαθό ή υπηρεσία χρησιμοποιείται για την παραγωγή του προϊόντος όπως εργασία, μηχανήματα, κτίρια, πρώτες ύλες, ενέργεια κλπ. Τα θερμοκήπια, ανάλογα με την κατασκευή, τον εξοπλισμό, την καλλιέργεια, την διαχείριση και την περιοχή στην οποία βρίσκονται έχουν διαφορετικές εισροές και αποτελεσματικότητα χρήσης. Στην παρούσα εργασία μελετώνται οι εισροές και οι εκροές σε θερμοκηπιακές καλλιέργειες περιοχών της Κρήτης. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν προέκυψαν από ερωτηματολόγια και αναλύθηκαν με τις μεθόδους ανάλυσης των ενεργειακών εισροών και εκροών (Input-Output energy analysis) και περιβάλλουσας ανάλυσης δεδομένων (Data Envelopment Analysis). Για την μελέτη αυτή εξετάστηκαν θερμοκήπια με διάφορους συνδυασμούς λαχανοκομικών καλλιεργειών. Βρέθηκε ότι ο συνδυασμός των καλλιεργειών τομάτας και πιπεριάς σε μία επιχείρηση έχει την υψηλότερη αποτελεσματικότητα χρήσης ενέργειας και τις χαμηλότερες ενεργειακές εισροές ανά κιλό προϊόντος. Το υψηλότερο μερίδιο ανάμεσα στις εισροές κατείχαν τα λιπάσματα και ακολουθούσαν τα καύσιμα και η ηλεκτρική ενέργεια. Τέλος, σε σχέση με την οικονομική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε, βρέθηκε ότι η πλειοψηφία των εκμεταλλεύσεων που μελετήθηκαν ήταν αποδοτικότερες με τον μέσο όρο των αποδόσεων κλίμακας να κυμαίνεται στο 80%, γεγονός που δείχνει ότι οι συνολικές εισροές σε ευρώ θα μπορούσαν να περιοριστούν αρκετά χωρίς να μειωθεί η συνολική απόδοση. Το μεγαλύτερο μερίδιο εισροών σε σχέση με το κόστος κατείχαν τα έξοδα για εργατικό προσωπικό ενώ ακολουθούσαν τα έξοδα για λιπάσματα και φυτοπροστασία.

Λέξεις κλειδιά: Εισροές – εκροές ενέργειας, Περιβάλλουσα ανάλυση δεδομένων, αποτελεσματικότητα χρήσης ενέργειας, ερωτηματολόγιο, τεχνολογική αποτελεσματικότητα

INPUT – OUTPUT ENERGY ANALYSIS IN GREENHOUSES. CASE STUDY FOR THE REGION OF CRETE

G. Daskalaki[1], N Katsoulas[2], G. Vlontzos[2], I. Livieratos[1], M. Tchamitchian[3], C. Kittas[2]
[1]Mediterranean Agronomic Institute of Chania, Makedonias Str. 1, 73100, Chania, Crete
[2]University of Thessaly, Dept of Agriculture Crop Production and Rural Env., Fytokou Str, 38446, Volos
[3]INRA, Avignon, France

This study examines the relation between inputs and yield regarding energy quantities and financial data, in greenhouse vegetable crops on the island of Crete, Greece. The data used were collected from growers using a face to face questionnaire. Two methods were applied for data analysis: the Energy Input-Output Analysis and the Data Envelopment Analysis. Regarding energy analysis, four crop combination cases were examined: tomato-pepper, tomato-pepper-cucumber, pepper-eggplant and tomato-cucumber. The results also showed that fertilizers (53%), diesel fuel (16%) and electricity (12%) consumed the bulk of energy. The results implied that the tomato-pepper case was the most efficient and profitable. Regarding the DEA approach, 13 producers of greenhouse vegetable crops were questioned regarding the economic input – output of their farm. Highest inputs included labour (30%), fertilizers (22%) and crop protection (16%). Based on the DEA approach, the average values of technical efficiency, pure technical efficiency and scale efficiency were 0.9, 0.97 and 0.80, respectively. Recommendations for input reduction without compromising total yield are provided.

Keywords: Energy Input-Output Analysis, Data Envelopment Analysis, energy use efficiency, technical efficiency, questionnaire

1. INTRODUCTION

Greenhouse crop production is an important economic sector in Crete and it highly contributes to the gross domestic product of the region. The greenhouse covered areas in Crete (about 2400 ha) account for about 40% of the total covered areas in Greece (http://www.statistics.gr, data from 2007). Tomato, cucumber, pepper and eggplant are dominant in greenhouse production, with the share of more than 95% in the total protected area in Crete. Among the four crops, tomato production takes the biggest share, of about 50%, cucumber about 25% and pepper and eggplants the rest of the part.

Vegetable production is mostly carried out as a family business involving low levels of technological advances and productivity compared to other regions of Greece or other countries.

The performance efficiency of a system could be evaluated by the Input – Output Energy Analysis method, where all inputs and outputs of the systems are expressed in energy equivalent and relative performance ratios of input to output energy are

calculated, or using the Data Envelopment Analysis (DEA) which identifies a frontier on which the relative performance of all utilities in the system can be compared. In fact, DEA benchmarks the different cases only against the best growers and assumes that if a farm can produce a certain level of output utilizing specific input levels, another farm of equal scale should be capable of doing the same.

Many surveys have used the above methods to analyse the efficiency of greenhouses (Ozkan et al. 2004, Canakci and Akinci 2006, Hatirli et al. 2006, Mohammadi and Omid 2010, Heidari and Omid 2011, Ozkan et al. 2011). An investigation in Antalya region of Turkey (Ozkan et al. 2004) described the level of energy use in four different greenhouse crops, tomato, cucumber, pepper and eggplant for both plastic and glass constructions. The authors reported that cucumber production was the most energy intensive, followed by tomato, eggplant, and pepper crops. However, the highest output-input ratio was found in tomato crop. Thus, a high use of inputs is not always accompanied by a yield increase.

Using the DEA method, Canakci and Akinci (2006) showed that tomato cultivation was the most profitable compared to cucumber, eggplant and pepper crops. Pahlavan et al. (2011, 2012) mentioned that in the case studies that they examined in Iran, about 25% and 44% of the energy inputs could be saved without reducing the crop yield in tomato and rose crops, respectively.

Thus, while growers try to find new ways to increase the level of production and commonly use more inputs, a question arises as to what extend their investment or use of inputs increases their farm energy efficiency. Thus, the aim of this work was to evaluate the performance of different greenhouse farms in Crete using two different data analysis methods, the Energy input–output analysis and the Data Envelopment Analysis.

2. MATERIALS AND METHODS

For the needs of this survey, data were collected from greenhouse growers around Crete (Kountoura area, Timpaki and Gouves area, Ierapetra area) applying a face-to-face questionnaire for the collection of data. Information on the technological level of the greenhouse and its equipment, management strategies and inputs/outputs were recorded.

Regarding the energy analysis, growers with different crop combination cases were examined, that means a grower had several greenhouses with different crops in each greenhouse: (i) case 1: tomato-pepper, (ii) case 2: tomato-pepper-cucumber, (iii) case 3: pepper-eggplant and (iv) case 4: tomato-cucumber. Unfortunately the growers commonly did not keep detailed records of the inputs used per crop imposing the analysis of combinations instead of single crops.

For the needs of the DEA approach, 13 producers of greenhouse vegetable crops were questioned regarding the economic input –output of their farm.

2.1. Input-output energy analysis

In order to estimate the quantities of energy, energy equivalents of inputs and outputs were converted into equivalent energy units as suggested by Canakci and Akinci (2006) and Hatirli et al (2006). Based on the energy equivalents, the following ratios were calculated:

Energy Use Efficiency = energy output (MJ ha^{-1}) to energy input (MJ ha^{-1})

Energy Productivity = crop production (kg ha^{-1}) to energy input (MJ ha^{-1})

Specific Energy (MJ kg^{-1}) =energy input per unit of product

Net Energy (MJ ha^{-1}) = output - input energy.

The energy demand can be divided into direct and indirect energy or renewable and non-renewable energy (Mandal et al. 2006). Direct energy covers human labour, water, diesel and electricity, while indirect energy includes energy embodied in fertilizers, manure, chemicals, plants and machinery used during the production process.

2.2. Data Envelopment Analysis

DEA is based on a finite sample of observed production units, which uses a linear programming method and does not need to estimate a pre-established functional form (Vlontzos 2013). It follows the Farrell approach (Farrell 1957) as proposed by Charnes et al. (1978). The advantage of DEA is its flexibility and the possibility of using it for different farm types and scenario analysis. The possibility to calculate technical efficiency over time makes the analysis of farm efficiency changes over a period possible.

There are two kinds of DEA models included: CCR built on the assumption of constant returns to scale (CRS) and BCC models built on the assumption of variable returns to scale (VRS) of activities. In DEA, the efficiency is defined in three different forms: overall technical efficiency (TE), pure technical efficiency (PTE) and scale efficiency (SE). Technical Efficiency (TE) is defined as the achievement of the maximum potential output from given amounts of inputs, taking into account physical production relationships. It can be measured within two main frameworks. First is the input-oriented framework where technical efficiency gives the potential input reduction that a farm could apply without reducing its output level; on the other hand, there is the output-oriented framework where technical efficiency gives information about the potential output increase that a farm could apply without increasing its use of inputs.

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Input – Output Energy Analysis

From the energy input distribution of all cases (Fig. 1), nitrogen, oil and electricity have the biggest shares. That means that the majority of the energy used for these crops was consumed on nitrogen fertilizers, oil for heating and electricity for a variety of purposes. Due to the low level of mechanization, human power represents a high percentage of total inputs. At the other end with a percentage lower than 5%, phosphorous fertilizers, plant material and energy for water purposes follow.

It is noteworthy that diesel engages a big share among the inputs, reflecting a rather limited usage of heating by a few growers.

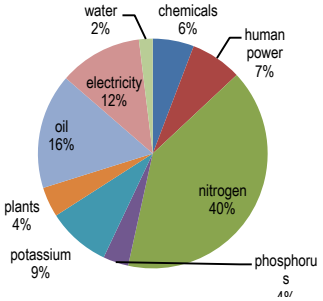


Fig. 1. Input distribution in greenhouses in Crete expressed in energy.

Regarding production yield (kg/ha) tomato-cucumber crops had the highest, followed by tomato-pepper-cucumber-tomato-pepper and pepper-eggplant. The yield according to energy (MJ/ha) and the total inputs of each case follow the same rank. Table 1 provides the calculated energy ratios for each group of crops.

Table 1. Calculated energy ratios for the different cases studied.

	Case1	Case2	Case3	Case4
Energy use efficiency (MJ/MJ)	1.46	1.20	1.27	1.15
Energy productivity (kg/MJ)	1.83	1.50	1.59	1.43
Energy Input per kg of product (MJ/kg)	0.55	0.67	0.63	0.70
Net energy (energy output-energy input)	43523	22927	21918	21534

case 1: tomato-pepper; case 2: tomato-pepper-cucumber; case 3: pepper-eggplant; case 4: tomato-cucumber.

The energy use efficiency was the highest for tomato-pepper, followed by pepper-eggplant, tomato-pepper-cucumber and tomato-cucumber. Energy productivity and energy input per kg of product followed the same rank. The net energy was the highest for tomato-pepper, followed by tomato-pepper-cucumber, pepper-eggplant and finally tomato-cucumber. Thus, tomato-pepper production has the highest use efficiency, the highest productivity, the lowest energy input per kg of product and the highest net energy. As a result, it represents the most profitable combination of the four cases. Also, it is implied that an intensive use of inputs is not always accompanied by an increase in the final product.

The production of tomato-pepper has a higher efficiency, followed by pepper-eggplant, tomato-pepper-cucumber and tomato-cucumber. Pepper-eggplant production had a lower quantity of total inputs in comparison to tomato-cucumber.

Regarding the types of energy, direct energy occupied 37% of total energy and indirect 63%. Renewable energy covered 11% of the total energy whereas non-renewable occupied 89%.

3.2 Data Envelopment Analysis

Figure 2 shows the cost distribution of inputs in the greenhouses studied. The highest percentage concerns labour with 30% of total costs. The majority of the producers have greenhouse constructions as a family business, but as greenhouse production is an intensive one, the grower needs more workers during a season. They usually have 2-3 permanent workers and usually hire some seasonal workers during sprayings and harvesting. A worker works all day and the work that he has to do is labor-intensive, so the salary is high as reflected by the total rates of labor costs. Next, follow the cost of fertilizers and crop protection with 22 and 16%, respectively. Oil has the last position at 3%, as Crete usually has high temperatures during winter months and a heating system is not necessary. In addition, even when there is a heating system in greenhouse constructions, the high cost of oil during the last years does not allow the growers to use the heating system as frequently as it is required. Some of the crops require higher temperature than others, such as the cucumber.

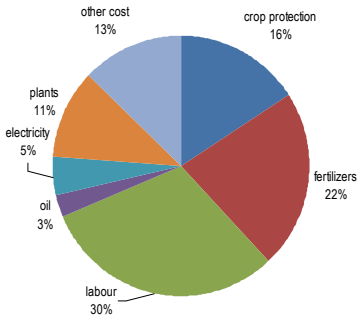


Fig. 2. Input distribution in greenhouses in Crete expressed in cost.

Cucumber is a crop that needs high temperatures (18-30°C) for optimum growth normal development and high yield, whereas other crops like tomato, pepper and eggplant require somewhat lower temperatures. For example temperatures that are required for tomato range from 13.5°C at night to 27°C during the day, for pepper from 18°C to 27°C and for eggplant from 18°C to 28°C, respectively.

Growers choose crops not so vulnerable in high temperatures or hybrids with resistance to low temperatures and try to use the heating system as less as possible to ensure sufficient yield. Electricity

also has a low percentage of 5% of total cost. That happens as the majority of growers do not use high technology equipment, which would need electricity. For example, there are manual windows instead of automatic and electricity is not being used for spraying (as a mean of) crop protection management or other uses.

Based on the CCR results of this study, 9 out of the 13 growers were efficient and the remaining 4 were inefficient in terms of inputs usage. From the BCC model, only one producer was inefficient in input use and the remaining 12 were efficient. These producers could use less input to obtain comparable yield.

The results of DEA application showed that the average values of technical efficiency, pure technical efficiency and scale efficiency were 0.90, 0.97 and 0.80, respectively. Low scale efficiency indicates that, if growers utilize their inputs efficiently, considerable savings are possible, without any change in technological practices. Consequently, the total input in euros could be significantly reduced without total yield reductions simply by adopting the recommendations based on this method.

The return to scale estimation also provides useful information. The constant returns to scale indicate the proportionate increase in outputs in response to an increase in inputs while, increasing (decreasing) returns to scale imply that an increase in the input resources produces more (less) than a proportionate increase in outputs. Results show that the majority of the greenhouse producers are operating at the optimal scale with a few producers from the total needing to improve their efficiency. The results of the RTS indicated that 70% of the farms appear to be constant, 15% appear to have decreasing returns to scale and the rest appear to have increasing returns to scale.

4. CONCLUSION

The two methods that were applied (Energy Input-Output Analysis and Data Envelopment Analysis) provided useful information regarding the image of greenhouse crops on the island of Crete. Energy input-output analysis showed that the most profitable production case was tomato-pepper with the lowest input per kg of product and the highest energy productivity, energy efficiency and net energy in comparison to the other 3 cases. The highest share in inputs was occupied by fertilizers, in particular nitrogen (40% of total inputs), diesel fuel and electricity. DEA has helped in segregating efficient growers from inefficient and identifying wasteful uses of inputs by inefficient growers. Based on the BCC model, only one out of thirteen producers was inefficient; while based on the CCR model the majority of the producers were efficient. Nine out of thirteen were efficient; two were operating at increasing returns to scale and two at decreasing returns to scale. The total input in euro could be significantly reduced without reducing the total yield from its present level. The highest share of inputs with respect to cost was in labour, followed by fertilizers and crop protection.

Literature Cited

Canakci, M., and Akinci, I. 2006. Energy use pattern analyses of greenhouse vegetable production. Energy 31: 1243-56

Hatirli, S.A., Ozkan, B., and Fert, C. 2006. Energy inputs and crop yield relationship in greenhouse tomato production. Renewable Energy 31: 427-438.

Heidari, M.D., and Omid, M. 2011. Energy use patterns and econometric models of major greenhouse vegetable productions in Iran. Energy 36: 220-25.

Mandal, K.G., Saha, K.P., Ghosh, P.K., Hati, K.M., and Bandyopadhyay, K.K. 2002. Bioenergy and economic analysis of soybean-based crop production systems in central India. Biomass Bioenergy 23: 337–45.

Mohammadi, A., and Omid, M. 2010. Economical analysis and relation between energy inputs and yield of greenhouse cucumber production in Iran. Applied energy 87: 191-196.

Ozkan, B., Ceylan, R.F., and Kizilay, H. 2011. Energy inputs and crop yield relationships in greenhouse winter crop tomato production. Renewable Energy 36: 3217-2.

Ozkan, B., Kurklu, A., and Akcaoz, H. 2004. An input–output energy analysis in greenhouse vegetable production: a case study for Antalya region of Turkey. Biom. Bioenergy 26: 89-95.

Pahlavan, R., Omid, M., and Akram, A. 2011. Energy use efficiency in greenhouse tomato production in Iran. Energy 36: 6714-19.

Pahlavan, R., Omid, M., Rafiee, S., and Mousavi-Avval, S.H. 2012. Optimization of energy consumption for rose production in Iran. Energy for sustainable development 16: 236-41.

Vlontzos, G. 2013. Assessment of the efficiency in Greek dairy industry; implementation of Data Envelopment Analysis methodology. Agricultural Economics Review, In press.ISSN:1109-2580

8^{Ο} ΕΘΝΙΚΟ ΣΥΝΕΔΡΙΟ ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ

ΝΕΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΣΤΗ ΓΕΩΡΓΙΚΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗ

ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΖΩΝΩΝ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΣΕ ΟΠΩΡΩΝΑ ΜΗΛΙΑΣ

Αικατερίνη Αγγελοπούλου[1], Θεοφάνης Γέμτος[1], Γεώργιος Νάνος[2], Annamaria Castrignano[3]
[1]Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας, [2]Εργαστήριο Δενδροκομίας, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Οδός Φυτόκου, Νέα Ιωνία Μαγνησίας, Τ.Κ. 384446
[3]CRA, Research Unit for Cropping Systems in Dry Environments, Bari 70125, Italy

Στην παρούσα εργασία δημιουργήθηκαν ζώνες διαχείρισης σε οπωρώνα μηλιάς έκτασης 50 στρεμμάτων στην περιοχή της Αγιάς Λάρισας. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν εδαφικά στοιχεία (μηχανική σύσταση, pH, οργανική ουσία, μακροστοιχεία, ιχνοστοιχεία) η παραγωγή και ποιοτικά χαρακτηριστικά των καρπών (μέγεθος, χρώμα, σάκχαρα, σκληρότητα) για τρία συνεχόμενα έτη. Τα αποτελέσματα έδειξαν το πρότυπο της παραλλακτικότητας της παραγωγής αρκετά σταθερό για τα τρία έτη του πειράματος. Η παραγωγή ήταν υψηλή στο κεντρικό και νότιο μέρος του αγρού, χαμηλή στο ανατολικό και δυτικό σύνορο του αγρού και ενδιάμεση στο υπόλοιπο μέρος του αγρού. Η ποιότητα των καρπών ήταν χαμηλή στις περιοχές με υψηλή παραγωγή και αντίστροφα. Ο οπωρώνας χωρίστηκε σε τέσσερεις ζώνες διαχείρισης με διαφορετικές ιδιότητες: μια ζώνη υψηλής παραγωγής και χαμηλής ποιότητας, μια ζώνη χαμηλής παραγωγής και υψηλής ποιότητας, μια ζώνη μέτριας παραγωγής και χαμηλής ποιότητας και μία ζώνη πολύ υψηλής παραγωγής και χαμηλής ποιότητας. Στις ζώνες διαχείρισης χρειάζεται να γίνει διαφορετική διαχείριση με στόχο την βελτίωση της ποιότητας των καρπών και την αύξηση του οικονομικού αποτελέσματος του παραγωγού.
Λέξεις κλειδιά: μήλα, χαρτογράφηση παραγωγής, εδαφικές ιδιότητες, χαρτογράφηση ποιότητας

DELINEATION OF MANAGEMENT ZONES IN AN APPLE ORCHARD

Katerina Aggelopoulou1, Theofanis Gemtos[1], George Nanos[2], Annamaria Castrignano[3]
[1]Laboratory of Farm Mechanization, Laboratory of Pomology, Department of Agriculture Crop Production and Rural Environment, University of Thessaly, Fytoko Street, N. Ionia, GR-38446, Volos, Greece
[3]CRA, Research Unit for Cropping Systems in Dry Environments, Bari 70125, Italy
aggelop@uth.gr, gemtos@uth.gr, gnanos@uth.gr, annamaria.castrignano@entecra.it

In the present study management zones were delineated in an apple orchard, 5 ha area, located in Agia. The data were soil properties (texture, pH, organic matter, macronutrients and minerals), yield and fruit quality characteristics (fruit mass, sugars, flesh firmness) for three consecutive years. The results showed that the pattern of yield variability was quite stable during the three yeas of the experiment. Yield was high in the central and the south part of the field, low in the eastern and western boarder and moderate in the rest part of the field. Fruit quality was low in the high yielding area and vice versa. The orchard was divided in four management zones: a high yielding zone with low fruit quality, a low yielding zone with high fruit quality, a zone with moderate yield and low fruit quality and a zone with very high yield and low fruit quality. The management zones could be managed in a different manner in order to improve fruit quality and increase the farmer income.

Key words: apples, yield mapping, soil properties, quality mapping, management zones

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η διαχείριση της παραλλακτικότητας των αγρών γίνεται πιο αποτελεσματικά με τη χρήση ζωνών διαχείρισης. Οι ζώνες διαχείρισης είναι περιοχές του αγρού με παρόμοιες ιδιότητες (Kitchen et al., 2005). Στις ζώνες διαχείρισης μπορεί να γίνει διαφοροποιημένη εφαρμογή εισροών (λίπανση, άρδευση, εφαρμογή φυτοπροστατευτικών) και καλλιεργητικών εργασιών (αραίωμα καρπών, κλάδεμα) ανάλογα με τις ανάγκες των φυτών στην κάθε ζώνη. Η διαφοροποιημένη εφαρμογή των εισροών ονομάζεται γεωργία ακριβείας. Τα οφέλη από την διαφοροποιημένη εφαρμογή των εισροών είναι οικονομικά και περιβαλλοντικά, διότι με αυτό τον τρόπο εφαρμόζονται στοχευμένες ποσότητες εισροών.

Για τη δημιουργία των ζωνών διαχείρισης έχουν χρησιμοποιηθεί διάφοροι τύποι δεδομένων όπως παραγωγή (Blackmore et al., 2003, Diker et al., 2004, Ping and Dobermann, 2003, Dobermann et al., 2003), ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους (Kitchen et al., 1999, 2003, Perry et al., 2007, Johnson et al., 2003, Morari et al., 2009), εδαφικές ιδιότητες (Zaman and Schuman, 2006, and Fountas et al., 2010), δείκτες βλάστησης (Mann et al. (2010), αεροφωτογραφίες του αγρού χωρίς βλάστηση (Fleming et al., 2000), τοπογραφικοί χάρτες (Lark and Stafford, 1997) και συνδυασμός αυτών. Στην ελιά οι Lopez-Granados και άλλοι (2004) δημιούργησαν χάρτες διαφοροποιημένης λίπανσης με βάση την φυλλοδιαγνωστική και οι Aggelopoulou et al.(2010) δημιούργησαν χάρτες διαφοροποιημένης λίπανσης στη μηλιά με βάση την ποσότητα των θρεπτικών στοιχείων που απομακρύνονται από το έδαφος με την παραγωγή του προηγούμενου έτους.

Οι στόχοι στην παρούσα εργασία ήταν: 1) να μελετηθεί η χωρική παραλλακτικότητα του εδάφους, της παραγωγής και της ποιότητας των καρπών σε ένα οπωρώνα μηλιάς και 2) να χωριστεί ο αγρός σε ζώνες διαχείρισης.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1. Ο αγρός

Το πείραμα πραγματοποιήθηκε σε αγρό που βρίσκεται στην Αγιά Λάρισας (22ο 45΄31΄΄ Ε, 39ο

40΄28΄΄ N) και έχει έκταση 50 στρεμματα. Το υψόμετρο είναι 160 μ και το έδαφος αμμοαργιλοπηλώδες. Στον οπωρώνα αυτό υπάρχουν δύο ποικιλίες μήλων, η Red Chief, που είναι η κύρια ποικιλία και η Golden Delicious, που είναι η επικονιάστρια ποικιλία. Η διάταξη των δύο ποικιλιών στον αγρό είναι 1 σειρά της επικονιάστριας ποικιλίας ανά 5 σειρές της κύριας ποικιλίας. Οι αποστάσεις φύτευσης των δένδρων είναι 3,5 μ μεταξύ των γραμμών και 2 μ επί της γραμμής. Το σχήμα διαμόρφωσης των δένδρων είναι ελεύθερη παλμέτα. Οι μετρήσεις στον αγρό αυτό λήφθηκαν τα έτη 2005, 2006 και 2007.

2.2. Μετρήσεις

2.2.1. Χαρτογράφηση παραγωγής

Το Σεπτέμβριο κάθε έτους διεξαγωγής του πειράματος πραγματοποιήθηκε χαρτογράφηση της παραγωγής μετρώντας την παραγωγή ανά δέκα δέντρα και καταγράφοντας τη θέση στο κέντρο των δέκα δέντρων με GPS.

2.2.2 Χαρτογράφηση εδαφικών ιδιοτήτων

Το Δεκέμβριο του 2005 λήφθηκαν 20 δείγματα εδάφους, σε βάθος 0-30 εκ. προκειμένου να προσδιοριστούν οι φυσικές και χημικές ιδιότητες του εδάφους. Προκειμένου να καθοριστούν οι θέσεις δειγματοληψίας ακολουθήθηκε η εξής διαδικασία: ο αγρός χωρίστηκε σε ζώνες διαχείρισης με βάση την παραγωγή. Η δημιουργία ζωνών διαχείρισης πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο ασαφούς ομαδοποίησης (fuzzy clustering) χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα MZA (Fridgen et al., 2004). Ο αγρός χωρίστηκε σε τρεις ζώνες: μια υψηλής παραγωγής που καταλάμβανε το 26,6% της επιφανείας του αγρού, μια μέσης παραγωγής (38,5%) και μια χαμηλής παραγωγής (34,9%). Ο αριθμός των δειγμάτων ήταν σε αναλογία με την επιφάνεια που καταλάμβανε η κάθε ζώνη. Έτσι ληφθήκαν 5 δείγματα από τη ζώνη υψηλής παραγωγής, 8 δείγματα από τη ζώνη μέσης παραγωγής και 7 δείγματα από τη ζώνη χαμηλής παραγωγής. Τα δείγματα αναλύθηκαν για τις εξής ιδιότητες: μηχανική σύσταση του εδάφους, pH, οργανική ουσία (Ο.Υ.), περιεκτικότητα σε φώσφορο (P), ανταλλάξιμα κατιόντα (Ca^{++}, Mg^{++}, K^{+}) και ιχνοστοιχεία (Zn, Fe, B, Cu, Mn). Οι θέσεις των δειγμάτων καταγράφηκαν προκειμένου να δημιουργηθούν οι αντίστοιχοι χάρτες.

2.2.3 Χαρτογράφηση ποιότητας καρπών

Για την εκτίμηση της ποιότητας λήφθηκαν 55 δείγματα καρπών σε ένα πλέγμα 30 μ x 30 μ πριν τη συγκομιδή και καταγράφηκαν οι συντεταγμένες των θέσεων λήψης των δειγμάτων με GPS. Τα δείγματα αναλύθηκαν για τα εξής ποιοτικά χαρακτηριστικά: βάρος καρπού, χρώμα φλοιού, σκληρότητα σάρκας, περιεκτικότητα του χυμού σε διαλυτά στερεά συστατικά, pH χυμού και οξύτητα χυμού εκφρασμένη σε περιεκτικότητα του χυμού σε μηλικό οξύ. Από τα δεδομένα που συλλέχθηκαν δημιουργήθηκαν οι αντίστοιχοι χάρτες ποιότητας.

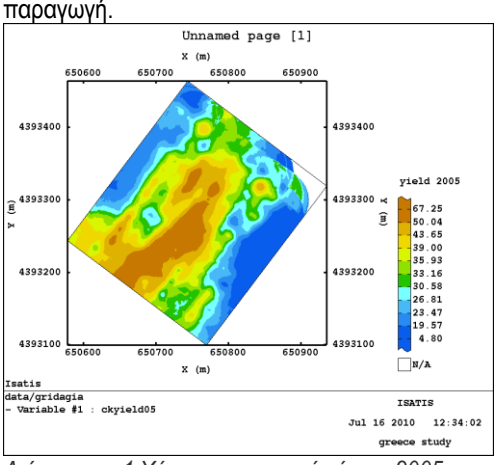
2.2.4 Ανάλυση δεδομένων

Τα δεδομένα χωρίστηκαν σε τρείς ομάδες στις οποίες εφαρμόστηκε γεωστατιστική ανάλυση. Η πρώτη ομάδα περιελάμβανε τα εδαφικά δεδομένα , η δεύτερη τα δεδομένα παραγωγής και η τρίτη τα δεδομένα ποιότητας των καρπών. Στα δεδομένα της κάθε ομάδας υπολογίστηκαν τα βαριογράμματα (variograms) και τα ετερο-βαριογράμματα (cross-variograms) και στη συνέχεια έγινε χωρική παρεμβολή των δεδομένων με τη μέθοδο ordinary co-kriging (Goovaerts, 1997) σε ένα πλέγμα 1 μ x 1 μ. Η γεωστατιστική ανάλυση έγινε με το λογισμικό ISATIS (Geovariances, 2011). Στη συνέχεια έγινε ομαδοποίηση των δεδομένων για να δημιουργηθούν οι ζώνες διαχείρισης. Για την ομαδοποίηση χρησιμοποιήθηκαν οι εκτιμώμενες τιμές που προέκυψαν από την παρεμβολή των αρχικών δεδομένων. Η ομαδοποίηση έγινε με την διαδικασία MODECLUS του λογισμικού SAS/STAT (SAS,2011, έκδοση 9.2)

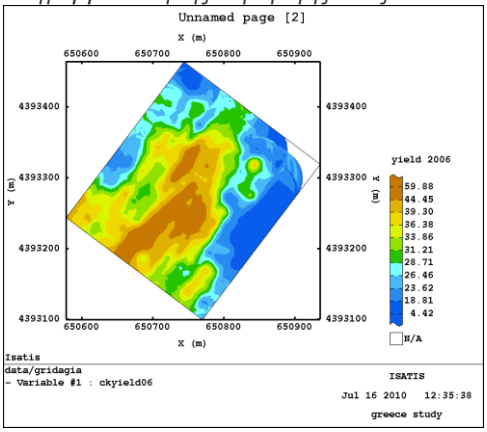
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

3.1. Χαρτογράφηση παραγωγής

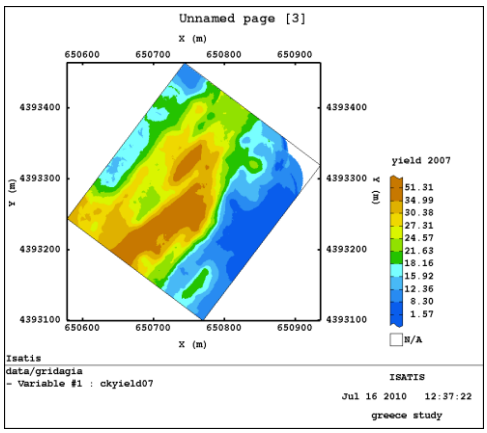
Οι χάρτες παραγωγής για τα τρία έτη του πειράματος παρουσιάζονται στα διαγράμματα 1,2,3 αντίστοιχα. Η παραγωγή κυμάνθηκε από 0-91,2 Mg ha^{-1} με συντελεστή παραλλακτικότητας περίπου 50% που δείχνει σημαντική χωρική παραλλακτικότητα. Οι χάρτες παραγωγής είναι παρόμοιοι για τα τρία έτη και δείχνουν μια ζώνη υψηλής παραγωγής στο κεντρικό και νότιο τμήμα του αγρού, ενώ το δυτικό και ανατολικό σύνορο του αγρού έχει χαμηλή παραγωγή.



Διάγραμμα 1 Χάρτης παραγωγής έτους 2005



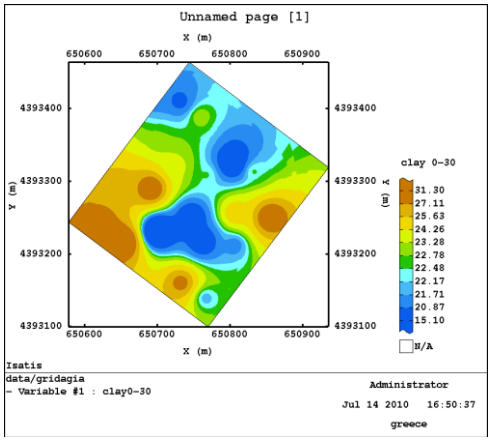
Διάγραμμα 2. Χάρτης παραγωγής έτους 2006



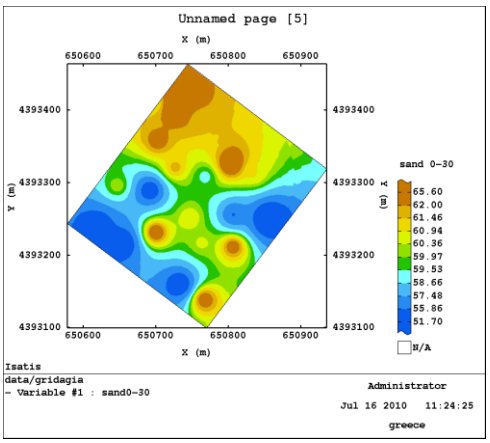
Διάγραμμα 3. Χάρτης παραγωγής έτους 2007

3.2 Χαρτογράφηση εδάφους

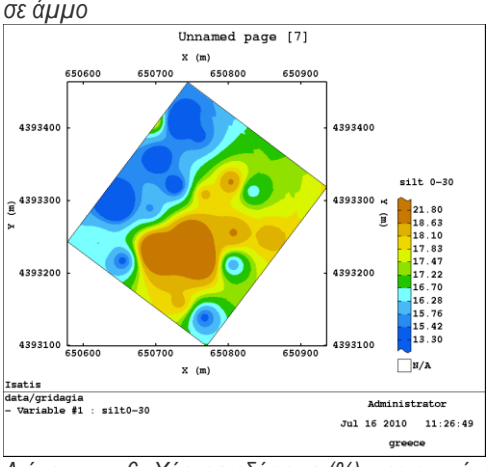
Οι εδαφικές αναλύσεις έδειξαν ότι το έδαφος ήταν αμμοαργιλοπηλώδες , το pH κυμάνθηκε από 6,9 - 8,1 και η περιεκτικότητα του εδάφους σε οργανική ουσία ήταν μέτρια (1,1-3,2%). Τα κύρια θρεπτικά στοιχεία που εφαρμόζονται κάθε χρόνο στους οπωρώνες μηλιάς είναι το άζωτο, ο φώσφορος και το κάλιο. Η περιεκτικότητα του εδάφους σε φώσφορο ήταν χαμηλή (0,46–9,2 mg kg^{-1}) ενώ η περιεκτικότητα σε κάλιο ήταν σε καλύτερα επίπεδα (60,4–354,8 mg kg^{-1}). Οι χάρτες της μηχανικής σύστασης του εδάφους δείχνουν ότι η περιεκτικότητα σε άργιλο ήταν χαμηλότερη στο κεντρικό τμήμα του αγρού (διάγραμμα 4), ενώ η περιεκτικότητα σε άμμο ήταν υψηλότερη στο βορειοδυτικό τμήμα (διάγραμμα 5) και η περιεκτικότητα σε ιλύ ήταν υψηλότερη στο νοτιοανατολικό τμήμα του αγρού (διάγραμμα 6).



Διάγραμμα 4. Χάρτης εδάφους (%) περιεκτικότητας σε άργιλο



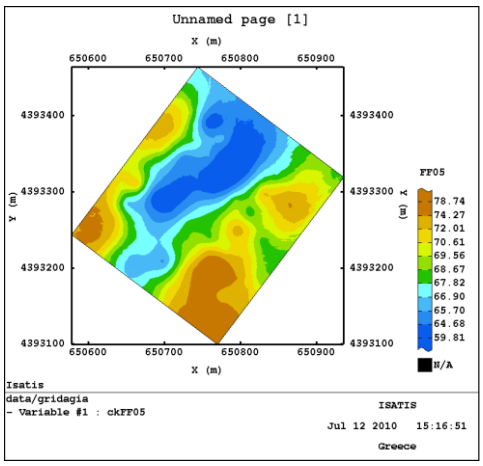
Διάγραμμα 5. Χάρτης εδάφους (%) περιεκτικότητας σε άμμο



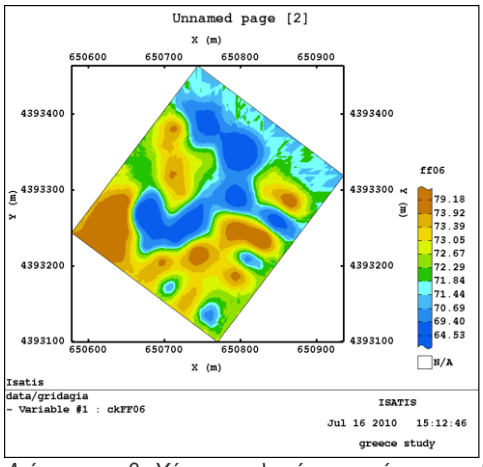
Διάγραμμα 6. Χάρτης εδάφους (%) περιεκτικότητας σε ιλύ

3.3 Χαρτογράφηση ποιότητας καρπών

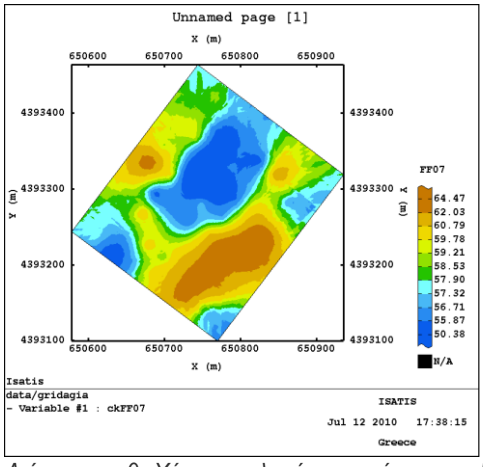
Η ποιότητα των καρπών ήταν καλή με τη σκληρότητα σάρκας να κυμαίνεται από 43,2 – 79,5 N και την περιεκτικότητα σε διαλυτά στερεά από 11,1% - 17,7%. Στα διαγράμματα 7, 8, 9 παρουσιάζονται οι χάρτες ποιότητας για τη σκληρότητα σάρκας στα έτη 2005, 2006 και 2007 αντίστοιχα. Οι χάρτες δείχνουν ότι στο κεντρικό τμήμα του αγρού οι καρποί έχουν μικρότερη σκληρότητα σάρκας και επομένως χαμηλότερη ποιότητα και στα τρία έτη του πειράματος. Το ίδιο παρατηρήθηκε και για τους χάρτες των διαλυτών στερεών συστατικών οι οποίοι δεν παρουσιάζονται στη παρούσα εργασία λόγω έλλειψης χώρου. Συγκρίνοντας τους χάρτες παραγωγής (Διαγράμματα 1,2,3) και ποιότητας (Διαγράμματα 7,8,9) παρατηρείται ότι στις περιοχές του αγρού που η παραγωγή είναι υψηλή, η ποιότητα είναι χαμηλή και αντίστροφα.



Διάγραμμα 7. Χάρτης σκληρότητας σάρκας σε Ν το 2005



Διάγραμμα 8. Χάρτης σκληρότητας σάρκας σε Ν το 2006



Διάγραμμα 9. Χάρτης σκληρότητας σάρκας σε Ν το 2007

3.4 Ζώνες διαχείρισης

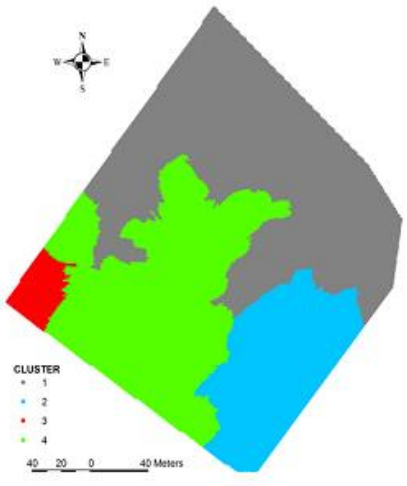
Από την ανάλυση των δεδομένων προέκυψαν τέσσερεις ζώνες διαχείρισης του αγρού (Διάγραμμα 10).

Στη ζώνη 1 από τα εδαφικά στοιχεία το Κ ήταν σε ικανοποιητικά επίπεδα αλλά ο Ρ και η Ο.Υ. ήταν χαμηλά. Η ζώνη αυτή θα μπορούσε να επωφεληθεί από καλλιέργεια κάλυψης η οποία θα μπορούσε να αυξήσει την Ο.Υ. Η ποιότητα των καρπών ήταν χαμηλή και η παραγωγή μέτρια. Για να αυξηθεί η παραγωγή της επόμενης χρονιάς χρειάζονται περισσότεροι ανθοφόροι οφθαλμοί, το οποίο μπορεί να επιτευχθεί με καλύτερο κλάδεμα και χαμηλή διαθεσιμότητα Ν την άνοιξη και χαμηλή διαθεσιμότητα νερού τον Ιούνιο για να στρεσαριστούν τα δένδρα και να παράγουν περισσότερους οφθαλμούς. Επίσης με μειωμένη διαχείριση των ζιζανίων τον Αύγουστο θα μπορούσε να βελτιωθεί η ποιότητα των καρπών επειδή τα ζιζάνια απορροφούν το πλεονάζον νερό και άζωτο και με τον τρόπο αυτό βελτιώνεται το κόκκινο χρώμα των καρπών λόγω αυξημένης σχετικής υγρασίας.

Στη ζώνη 2 το έδαφος είχε χαμηλό Ρ, Κ και Ο.Υ. Η παραγωγή ήταν πολύ χαμηλή αλλά η ποιότητα ήταν καλή με καλό χρώμα καρπών, υψηλά σάκχαρα και υψηλή σκληρότητα σάρκας. Η λίπανση με Ρ, Κ και Ο.Υ. θα βοηθούσε να αυξηθεί η παραγωγικότητα χωρίς να αυξηθεί η βλαστική ανάπτυξη των δένδρων.

Στη ζώνη 3 το έδαφος ήταν μέτριας ποιότητας (Κ σχετικά χαμηλό, Ρ χαμηλό και Ο.Υ. σε μέτρια επίπεδα) και για το λόγο αυτό η εφαρμογή Ρ και Κ θα ήταν χρήσιμη. Η παραγωγή ήταν καλή με χαμηλά σάκχαρα και υψηλή σκληρότητα σάρκας δηλαδή χαμηλή ποιότητα καρπού.

Στη ζώνη 4 το έδαφος ήταν σε καλή κατάσταση από άποψη γονιμότητας και η παραγωγή ήταν η υψηλότερη από όλες τις ζώνες σε όλα τα χρόνια. Η ποιότητα των καρπών ήταν χαμηλή με χαμηλά σάκχαρα και χαμηλή σκληρότητα σάρκας. Στη ζώνη αυτή η παραγωγικότητα μπορεί να διατηρηθεί με την παραδοσιακό τρόπο διαχείρισης αλλά η ποιότητα θα μπορούσε να βελτιωθεί μόνο με μείωση της παραγωγής και κατάλληλο κλάδεμα και αραίωμα καρπών. Επιπλέον η ποιότητα θα μπορούσε να βελτιωθεί με καλλιεργητικές πρακτικές όπως μειωμένο έλεγχο των ζιζανίων ή περιορισμένη άρδευση τον Αύγουστο.



Διάγραμμα 10. Ζώνες διαχείρισης

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας έδειξαν ότι υπήρχε σημαντική χωρική και χρονική παραλλακτικότητα στην παραγωγή, στις εδαφικές

ιδιότητες και στα ποιοτικά χαρακτηριστικά των καρπών στον οπωρώνα μηλιάς που μελετήθηκε. Το πρότυπο της χωρικής παραλλακτικότητας ήταν αρκετά σταθερό στη διάρκεια των τριών ετών του πειράματος και έτσι κατέστη δυνατόν, συνδυάζοντας τα παραπάνω δεδομένα, να δημιουργηθούν ζώνες διαχείρισης στον οπωρώνα οι οποίες έχουν παρόμοιες ιδιότητες και στις οποίες η διαχείριση μπορεί να είναι ενιαία. Στις ζώνες διαχείρισης μπορεί να γίνει διαφορετική διαχείριση με στόχο την βελτίωση της ποιότητας των καρπών και την αύξηση του οικονομικού αποτελέσματος του παραγωγού.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Περιοδικά

Aggelopoulou, K., Fountas, S., Pateras, D., Nanos, G., Gemtos, T., 2011. Soil spatial variability and site-specific fertilization maps in an apple orchard. Precision Agriculture 12 (1): 118–129.

Blackmore S., Godwin R. J., Fountas S., 2003. The analysis of spatial and temporal trends in yield map data over six years. Biosystems Engineering 84(4): 455-466

Diker, K., Heermann, D.F., Brodahl, M.K., 2004. Frequency analysis of yield for delineating yield response zones. Precision Agriculture 5, 435–444.

Dobermann, A., Ping, J.L., Adamchuk, V.I., Simbahan, G.C., Ferguson, R.B., 2003. Classification of crop yield variability in irrigated production fields. Agronomy Journal 95, 1105–1120.

Fleming, K.L., Westfall, D.G., Wiens, D.W., Brodah, M.C., 2000. Evaluating farmer developed management zone maps for variable rate fertilizer application.Precision Agriculture 2: 201–215

Fountas, S., Aggelopoulou, K., Bouloulis, K., Nanos, G.D., Wulfsohn, D., Gemtos, T.A., Paraskevopoulos, A., Galanis, M., 2010. Site-specific management in an olive tree plantation. Precision Agriculture. http://dx.doi.org/10.1007/s11119-010-9167-4.

Giovariances, 2011. Isatis Technical Ref., Ver. 11.01. Geovariances & Ecole DesMines De Paris, Avon Cedex, France.

Goovaerts, P., 1997. Geostatistics for Natural Resources Evaluation. Oxford University Press, New York.

Johnson, C.K., Mortensen, D.A., Wienhold, B.J., Shanahan, J.F., Doran, J.W., 2003. Site-specific management zones based on soil electrical conductivity in a semiarid cropping system. Agronomy Journal 95, 303–315.

Kitchen, N.R., K.A. Sudduth, and S.T. Drummond. 1999. Soil electrical conductivity as a crop productivity measure for claypan soils. Journal of Production Agriculture, 12: 607-617.

Kitchen, N.R., S.T Drummond, E.D. Lund, K.A. Sudduth, and G.W. Buchleiter. 2003. Soil electrical conductivity and topography related to yield for three contrasting soil-crop systems. Agronomy Journal, 95: 483-495.

Kitchen, N. R., Sudduth, K.A., Myers, D. B., Drummond, S.T., Hong, S.Y. 2005. Delineating productivity zones on claypan soil fields using apparent soil electrical conductivity. Computers and Electronics in Agriculture, 46: 285-308

Lark, R.M., Stafford, J.V., 1997. Classification as a first step in the interpretation of temporal and spatial variation of crop yield. Annals of Applied Biology 130,111–121.

Lopez-Granados, F., Jurado-Exposito, M., Alamo, S., Garcia-Torres, L, 2004. Leaf nutrient spatial variability and site-specific fertilization maps within olive (*Olea europaea L.*) orchards. European Journal Agronomy 21: 209-222.

Mann, K.K., Schumann, A.W., Obreza, T.A., 2010. Delineating productivity zones in acitrus grove using citrus production tree growth and temporally stable soil data.Journal of Precision Agriculture, 12 (20)

Morari, F., Castrignano, A., Pagliarin, C., 2009. Application of multivariate geostatistics in delineating management zones within a gravelly vineyard using geo-electrical sensors. Computers and Electronics in Agriculture 69, 97–107.

Perry, C.D., Sullivan, D.G., Ortiz, B.V., Rucker, K.S., Vellidis, G. 2007. Developing Nematode Management Zones Using Soil EC Data. ASAE Paper N. 071002.

Ping, J.L., Dobermann, A., 2003. Site specific management. Creating spatially contiguous yield classes for site-specific management. Agronomy Journal 95,1121–1131.

SAS Institute Inc., 2011. SAS/STAT Software Release 9.2. USA, Cary, NC.

Zaman, Q., Schuman, W. A., 2006. Nutrient management zones for citrus based on variation in soil properties and tree performance. Precision Agriculture 7: 45-63.

ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΤΟΥ ΧΡΩΜΑΤΟΣ ΦΥΛΛΩΝ ΜΑΡΟΥΛΙΟΥ ΜΕ ΑΝΑΛΥΣΗ ΨΗΦΙΑΚΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ

Ε. Γ. Χατζής[1], Ε. Μανωλοπούλου[2], Γ. Ξανθόπουλος[1], Γρ. Λαμπρινός[1]
[1]Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμ. Α.Φ.Π. & Γ.Μ., Ιερά Οδός 75, Τ.Κ. 11855,
Τηλ. 210 5294029–4031, Fax. 210 529 4032, e–mail: refrigenergy@.aua.gr
[2]ΤΕΙ Καλαμάτας, Σ.ΤΕ.Γ., Τμ. Φ.Π., Αντικάλαμος, 24 100 Καλαμάτα, e–mail: arte_lampr@yahoo.gr

Στην εργασία αυτή μελετήθηκε η μεταβολή του χρώματος συντηρούμενων συσκευασμένων και ασυσκεύαστων ολόκληρων φύλλων μαρουλιού (Lactuca sativa var. capitata L) καθώς και φύλλων μαρουλιού με ελάχιστη επεξεργασία στους 0 και 10 °C, μετρούμενη τόσο με χρωματόμετρο όσο και με ανάλυση ψηφιακών εικόνων. Η βασική χρωματική παράμετρος που χρησιμοποιήθηκε είναι η χροιά h*. Η νέα μέθοδος προσδιορίζει σε κάθε περίπτωση αποχρώσεις στην περιοχή του πρασίνου (103.06≤h*≤119.77), όχι μακριά από το διάστημα στο οποίο κυμαίνονται και οι τιμές της χροιάς (109.14≤h*≤118.36) που εκτιμώνται από το χρωματόμετρο. Επιπλέον τα όρια εμπιστοσύνης (CL) στην περίπτωση της νέας τεχνικής, είναι σημαντικά μικρότερα (CL<0.1) από τα αντίστοιχα της τεχνικής του χρωματομέτρου (0.59<CL<0.85) το οποίο οφείλεται στο μεγαλύτερο αριθμό μετρήσεων (pixels) (90,000-110,000) στην περίπτωση της νέας μεθόδου. Η διαφορά της γωνίας χροιάς μεταξύ των δυο μεθόδων κυμαίνεται 0.1%≤Δh≤2.2%. Τόσο οι χαμηλές τιμές της διαφοράς Δh, όσο και των διαστημάτων εμπιστοσύνης CL των μετρήσεων με ανάλυση ψηφιακών εικόνων, δείχνουν ότι η νέα μέθοδος είναι σημαντικά πιο αξιόπιστη.

Λέξεις κλειδιά: χρώμα, μέτρηση χρώματος, ανάλυση εικόνας, μαρούλι

STUDY OF LETTUCE COLOUR CHANGE BY IMAGE ANALYSIS

E.G. Chatzis[1], H. Manolopoulou[2], G. Xanthopoulos[1] and Gr. Lamprinos[1]
[1]Agricultural University of Athens, Department of Natural Resources Development & Agricultural Engineering, 75 Iera Odos Str., 118 55, Athens–Greece, e–mail: refrigenergy@aua.gr
[2]Technological Educational Institute of Kalamata, Faculty of Agricultural Technology, Dep. of Crop Science, Antikalamos, 24 100 Kalamata, e–mail: arte_lampr@yahoo.gr

In this work, the colour in terms of hue angle (h*), of packaged and unpackaged whole and minimal processed lettuce leaves (Lactuca sativa var. capitata L) at 0 and 10 °C was studied. Chromameter and a new method of image analysis were tested and evaluated. The new method determines in each case shades of green area (103.06≤h≤119.77). The values of hue angle resulted from the chromameter are almost of the same range (109.14≤h≤118.36). Moreover, the confidence limits (CL) in the case of the proposed technique are significantly lower (CL<0.1) than those of the chromameter technique (0.59<CL<0.85). The previous trend is attributed to the large number of analysed pixels in the image analysis technique (90,000-110,000). The hue angle difference between these two methods is 0.1%≤Δh≤2.2%. The narrow differences of Δh values as well as the image analysis technique low confident limits of hue angle, enforce the credibility of the new proposed method.

Key words: colour, colour measurement, mage analysis, lettuce

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το χρώμα παίζει καθοριστικό ρόλο στην εμπορική αξία των φυτικών οργάνων και μαζί με την υφή προσδιορίζουν τη φρεσκάδα των περισσότερων λαχανικών. Το χρώμα χρησιμοποιείται σαν κριτήριο ωριμότητας ή γήρανσης καθώς και σαν δείκτης φυσιολογικών, μηχανικών ή παθολογικών βλαβών (Kader, 2002).

Σκοπός της εργασίας αυτής ήταν η μελέτη της μεταβολής του χρώματος κατά τη διάρκεια της συντήρησης, ολόκληρων και τεμαχισμένων φύλλων μαρουλιού, με την τεχνική ανάλυσης ψηφιακών εικόνων (IA.Cm) καθώς και την παράλληλη χρήση χρωματόμετρου (CHM) έτσι ώστε να εκτιμηθεί η αξιοπιστία της νέας μεθόδου. Αυτό έγινε αποσκοπώντας στην έρευνα ύπαρξης δυνατότητας χρήσης της νέας τεχνικής στον ποιοτικό έλεγχο της φυλλωδών λαχανικών. Το χρωματικό μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε ήταν το CIELAB (HunterLab, 1996), η δε μεταβολή του χρώματος αποδόθηκε από τη χροιά h*.

Στη διεθνή βιβλιογραφία, αναφορά στη χρήση τεχνικής ανάλυσης ψηφιακών εικόνων στη μέτρηση του χρώματος μαρουλιού, γίνεται από τον Zhou et al. (2004). Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι δεν βρέθηκε αναφορά παράλληλης χρήσης και σύγκρισης χρωματομέτρου και τεχνικής ανάλυσης ψηφιακών εικόνων στη μέτρηση χρώματος μαρουλιού.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Στα πειράματα χρησιμοποιήθηκαν μαρούλια κεφαλωτού τύπου (Lactuca sativa var. capitata L.-Butterhead type) της κατηγορίας 'Looseleaf' γνωστά ως 'γαλλική σαλάτα', των οποίων η συγκομιδή έγινε στο στάδιο της «εμπορικής ωριμότητας» από καλλιέργεια στο Μαραθώνα Αττικής. Αμέσως μετά τη συγκομιδή τους, συντηρήθηκαν στους 0 °C και RH=95%. Την επόμενη ημέρα, υπέστησαν τους

απαραίτητους χειρισμούς για την προετοιμασία των δειγμάτων. Στην αρχή έγινε διαλογή των κεφαλών ώστε αυτές να είναι ομοιόμορφου μεγέθους χωρίς εξωτερικά ελαττώματα. Για την προετοιμασία των δειγμάτων χρησιμοποιήθηκαν τα φύλλα των τριών εξωτερικών σειρών κάθε κεφαλής. Τα φύλλα απολυμάνθηκαν με ειδικές ταμπλέτες σταθεροποιημένου χλωρίου Suma Tab D4 tab (JOHNSONDINERSEY). Οι ενέργειες που πραγματοποιήθηκαν περιελάμβαναν α) Πρόπλυση με νερό θερμοκρασίας 14 ^{o}C. β) Προσθήκη 1 ταμπλέτας Suma Tab D4 tab (JOHNSON DIVERSEY) σε 20 L νερού, γ) Εμβάπτιση δειγμάτων για 5 min, γ. Ξέβγαλμα με καθαρό νερό, δ) Στέγνωμα δειγμάτων σε φυγόκεντρο μηχανή σαλάτας για την απομάκρυνση του πλεονάζοντος νερού. Τα φύλλα που απολυμάνθηκαν χωρίστηκαν σε δύο ομάδες:

1. Η πρώτη ομάδα περιλάμβανε ολόκληρα φύλλα
2. Η δεύτερη ομάδα περιελάμβανε φύλλα τα οποία τεμαχίστηκαν με ειδικό κοπτικό μηχάνημα.

Για την συσκευασία χρησιμοποιήθηκε διάτρητο φιλμ πολυαιθυλενίου χαμηλής πυκνότητας (LDPE). Η κάθε συσκευασία περιείχε 6 ολόκληρα φύλλα. Η συσκευασία χρησιμοποιήθηκε μόνο για την προστασία των δειγμάτων από την αφυδάτωση και όχι για τη δημιουργία τροποποιημένης ατμόσφαιρας.

Οι συνθήκες συντήρησης των δειγμάτων ήταν: 0 °C και 10 °C με σχετική υγρασία RH=95%.

Οι ομάδες που σχηματίστηκαν ήταν:

- Ολόκληρα ασυσκεύαστα φύλλα στους 0 °C (6 δείγματα με 6 φύλλα/ δείγμα)
- Ολόκληρα συσκευασμένα φύλλα στους 0 °C (6 δείγματα με 6 φύλλα/ δείγμα)
- Ολόκληρα ασυσκεύαστα φύλλα στους 10 °C (6 δείγματα με 6 φύλλα/ δείγμα)
- Ολόκληρα συσκευασμένα φύλλα στους 10 °C (6 δείγματα με 6 φύλλα/ δείγμα)
- Τεμαχισμένα ασυσκεύαστα φύλλα στους 0 °C (6 δείγματα με μάζα περίπου 120 g/ δείγμα)
- Τεμαχισμένα συσκευασμένα φύλλα στους 0 °C (6 δείγματα με μάζα περίπου 120 g/ δείγμα)
- Τεμαχισμένα ασυσκεύαστα φύλλα στους 10 °C (6 δείγματα με μάζα περίπου 120 g/ δείγμα).
- Τεμαχισμένα συσκευασμένα φύλλα στους 10 °C (6 δείγματα με μάζα περίπου 120 g/ δείγμα).

Το πείραμα επαναλήφθηκε τρεις φορές. Το χρώμα μετρήθηκε με χρωματόμετρο (CHM) Minolta CR-300 (Minolta, 1995). Το χρώμα μετρήθηκε σε τέσσερα προεπιλεγμένα δείγματα τεμαχισμένων και ολόκληρων φύλλων μαρουλιού από κάθε δείγμα. Σε κάθε φύλλο ελήφθησαν τέσσερις μετρήσεις με το χρωματόμετρο όπως αυτές παρουσιάζονται στην Εικόνα 1.

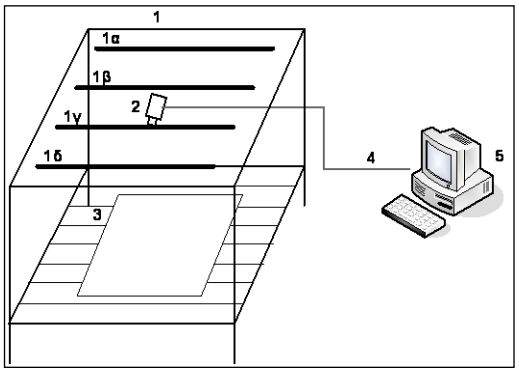
Σε κάθε επιμέρους δείγμα τεμαχισμένου φύλλου πραγματοποιήθηκαν 2 μετρήσεις. Η λήψη των μετρήσεων (σε κάθε μέτρηση εκτιμάται το χρώμα σε επιφάνεια 50.24 mm^2) (Minolta, 1995) πραγματοποιήθηκαν με σκοπό να επιτευχθεί η κατά το δυνατό μεγαλύτερη αξιολογούμενη επιφάνεια δειγμάτων.

Εικόνα 1. Παρουσίαση σημείων μέτρησης του χρώματος με το χρωματόμετρο Minolta CR-300.

Ο αριθμός των τεσσάρων μετρήσεων επιλέχθηκε με βάση τις διαφορετικές αποχρώσεις της επιφάνειας των δειγμάτων (μείωση σφαλμάτων σε σχέση με την τεχνική ανάλυσης ψηφιακών εικόνων με την οποία μετράται το χρώμα στο σύνολο σχεδόν της επιφάνειας των δειγμάτων).

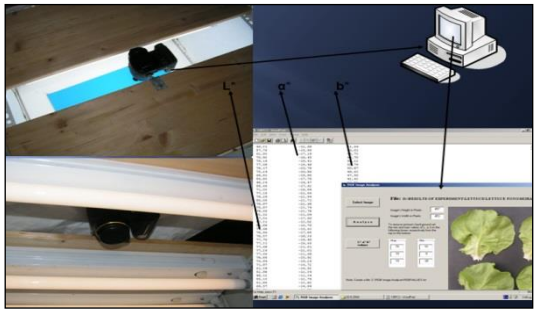
Στη μέθοδο ανάλυσης ψηφιακών εικόνων. (IA.Cm) χρησιμοποιήθηκε ψηφιακή φωτογραφική μηχανή (Εικόνα 2) Konica Minolta Dimage Z2 με προεπιλεγμένες ρυθμίσεις σε ότι αφορά τον χρόνο έκθεσης (ταχύτητα κλείστρου) σε 1/100 s, την φωτεινότητα του φακού f.5, το υψηλότερο επίπεδο ποιότητας εικόνας (High Quality) με διαστάσεις αυτής 640×480 pixel (Clelland and Eismann, 2001). Η οριζόντια και κατακόρυφη ανάλυση ήταν 72 dpi και η λήψη πραγματοποιήθηκε με μηδενική εστίαση (zoom) χωρίς χρήση φλας (Chatzis et al., 2009). Η αρχική απεικόνιση του χρώματος των λαμβανομένων ψηφιακών εικόνων βασίζεται στο χρωματικό μοντέλο sRGB.

Η διάταξη για τη λήψη των ψηφιακών εικόνων και την ανάλυση αυτών για την μέτρηση του χρώματος παρουσιάζεται στο Εικόνα 2 (Χατζής κ.ά 2009).



Εικόνα 2. Διάταξη λήψης ψηφιακών εικόνων δειγμάτων προς ανάλυση για την εκτίμηση του χρώματος σε μικροϋπολογιστή.

Το χρώμα του φόντου επιλέχθηκε μετά από πολλαπλές μετρήσεις (Πίνακας 1) με το χρωματόμετρο σε όλη την επιφάνεια του υλικού με παράλληλη λήψη εικόνων προς ανάλυση από το λογισμικό.



Εικόνα 3. Σχηματική παρουσίαση της διαδικασίας εξαγωγής των αριθμητικών τιμών L, a* και b* με την τεχνική IA.Cm.*

Πίνακας 1. Διαστήματα τιμών L, a* και b* φόντου (background) και δειγμάτων.*

Φόντο background	min	max
*L**	*93*	*99*
*a**	*-3*	*2*
*b**	*-3*	*3*
Δείγματα μαρουλιού	**min**	**max**
*L**	*45*	*90*
*a**	*-16*	*1*
*b**	*16*	*50*

Η ανάλυση των ψηφιακών εικόνων για την εξαγωγή των χρωματικών παραγόντων L^*, a^* και b^*, πραγματοποιήθηκε με ειδικό λογισμικό σε περιβάλλον Visual Basic. Το λογισμικό επεξεργασίας εικόνων COREL 12 χρησιμοποιήθηκε για τον προσδιορισμό των χρωματικών παραγόντων L^*, a^* και b^* του υπόβαθρου (background) στις δοκιμές επιλογής.

Η χροιά h* υπολογίστηκε από την παρακάτω εξίσωση:

$$h = [180 + \tan^{-1}(\frac{b^*}{a^*})] \quad (1)$$

Ο παράγοντας a αντιστοιχεί σε αποχρώσεις πράσινου για αρνητικές τιμές (-) έως κόκκινου για θετικές (+). Ο παράγοντας b αντιστοιχεί σε αποχρώσεις μπλε για αρνητικές τιμές (-) έως κίτρινου για θετικές (+). (Yam and Papadakis, 2004).

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

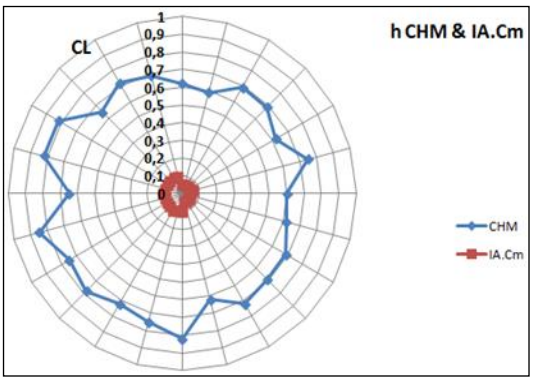
Στον Πίνακα 1 καταγράφονται οι μέσοι όροι, το τυπικό σφάλμα $SE_{\bar{x}}$ και τα όρια εμπιστοσύνης (CL, P≤0.05) του χρωματικού παράγοντα h*, των ασυσκεύαστων (UF) και συσκευασμένων (PF) ολόκληρων φύλλων μαρουλιού, που προσδιορίστηκαν από τα δεδομένα των δυο τεχνικών CHM και IA.Cm, συναρτήσει του χρόνου συντήρησης στις δύο θερμοκρασίες συντήρησης 0 °C και 10 °C.

Τα αντίστοιχα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 2 για την περίπτωση των ασυσκεύαστων (UC) και συσκευασμένων (PC) τεμαχισμένων φύλλων μαρουλιού.

Πίνακας 2. Μέσοι όροι, τυπικό σφάλμα και όρια εμπιστοσύνης CL του h από τις τεχνικές CHM και IA.Cm σε ασυσκεύαστα και συσκευασμένα ολόκληρα φύλλα μαρουλιού (0 °C & 10 °C).*

θ=0 °C, Ασυσκεύαστα φύλλα (UF)						
t_{sp}	**h_{CHM}**	$SE_{\bar{x}}$	**CL**	**$h_{IA.Cm}$**	$SE_{\bar{x}}$	**CL**
0	117.2	0.32	0.62	108.7	0.03	0.05
4	115.9	0.30	0.59	110.4	0.03	0.05
10	114.8	0.35	0.69	113.7	0.03	0.05
θ=10 °C. Ασυσκεύαστα φύλλα (UF)						
t_{sp}	h_{CHM}	$SE_{\bar{x}}$	**CL**	**$h_{IA.Cm}$**	$SE_{\bar{x}}$	**CL**
0	116.7	0.35	0.69	107.4	0.02	0.05
4	118.3	0.32	0,62	108,9	0,03	0.05
10	117.1	0.38	0.75	111.5	0.03	0.06
θ=0°C, Συσκευασμένα φύλλα (PF)						
t_{sp}	h_{CHM}	$SE_{\bar{x}}$	**CL**	**$h_{IA.Cm}$**	$SE_{\bar{x}}$	**CL**
0	115.1	0.31	0.60	108.5	0.03	0.05
4	114.9	0.32	0.62	109.8	0.02	0.04
10	116.1	0.35	0.69	101.2	0.03	0.05
θ=10°C, Συσκευασμένα φύλλα (PF)						
t_{sp}	h_{CHM}	$SE_{\bar{x}}$	**CL**	**$h_{IA.Cm}$**	$SE_{\bar{x}}$	**CL**
0	109.1	0.35	0.69	116.9	0.02	0.05
4	110.6	0.37	0.72	117.5	0.03	0.05
10	114.0	0.32	0.62	117.4	0.03	0.05

Στην Εικόνα 4 παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα διαστήματα εμπιστοσύνης CL για όλες τις μετρήσεις και θερμοκρασίες του χρωματικού παράγοντα h° των δυο τεχνικών CHM & IA.Cm.

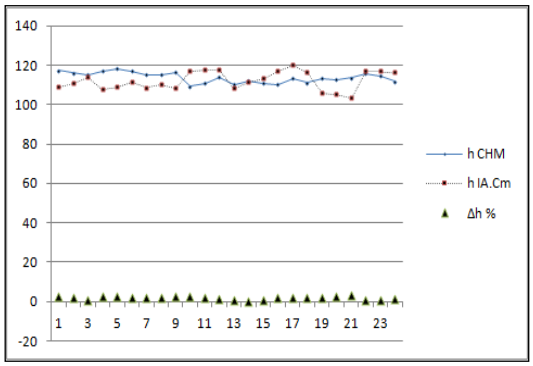


Εικόνα 4. Συγκεντρωτική παρουσίαση διαστημάτων εμπιστοσύνης (CL) των μετρήσεων του χρωματικού παράγοντα h με τις τεχνικές CHM και IA.Cm.

Στην Εικόνα 5 παρουσιάζονται οι τιμές της χροιάς που υπολογίστηκαν με τις τεχνικές CHM και IA.Cm καθώς και το ποσοστό απόλυτης διαφοράς της γωνίας χροιάς αυτών $\Delta h = h_{IA.Cm} - h_{CHM}$, κατ' αντιστοιχία, για κάθε χειρισμό.

Πίνακας 3. Μέσοι όροι, τυπικό σφάλμα και όρια εμπιστοσύνης CL του h των τεχνικών CHM και IA.Cm ασυσκεύαστα και συσκευασμένα τεμαχισμένα φύλλα μαρουλιού (0 °C & 10 °C).*

θ=0 °C, Ασυσκεύαστα τεμαχ. φύλλα (UC)						
t_{sp}	**h_{CHM}**	$SE_{\bar{x}}$	**CL**	**$h_{IA.Cm}$**	$SE_{\bar{x}}$	**CL**
0	115.6	0.42	0.82	108.1	0.05	0.10
4	114.4	0.38	0.75	111.3	0.05	0.10
10	111.6	0.37	0.72	113.1	0.05	0.11
θ=10 °C, Ασυσκεύαστα τεμαχ. φύλλα (UC)						
t_{sp}	h_{CHM}	$SE_{\bar{x}}$	**CL**	**$h_{IA.Cm}$**	$SE_{\bar{x}}$	**CL**
0	110.2	0.40	0.78	117.0	0.05	0.10
4	113.3	0.38	0.75	119.7	0.05	0.10
10	111.0	0.43	0.85	116.2	0.05	0.10
θ=0 °C, Συσκευασμένα τεμαχ. φύλλα (PC)						
t_{sp}	**h_{CHM}**	$SE_{\bar{x}}$	**CL**	**$h_{IA.Cm}$**	$SE_{\bar{x}}$	**CL**
0	113.0	0.33	0.65	105.8	0.05	0.11
4	112.5	0.42	0.82	105.0	0.05	0.10
10	113.5	0.42	0.82	103.0	0.05	0.10
θ=10 °C, Συσκευασμένα τεμαχ. φύλλα (PC)						
t_{sp}	h_{CHM}	$SE_{\bar{x}}$	**CL**	**$h_{IA.Cm}$**	$SE_{\bar{x}}$	**CL**
0	110.0	0.33	0.65	116.8	0.05	0.10
4	111.7	0.37	0.72	116.8	0.05	0.10
10	110.9	0.35	0.69	116.1	0.05	0.10



Εικόνα 5. Τιμές του h των τεχνικών IA.Cm και CHM για κάθε περίπτωση και το ποσοστό απόλυτης διαφοράς της γωνίας χροιάς αυτών $\Delta h=h_{IA.Cm}-h_{CHM}$*

Στη συνέχεια διενεργήθηκε έλεγχος της γραμμικής ισχύος της παραμέτρου h* που υπολογίστηκαν από τις δύο τεχνικές, σε συνάρτηση με το χρόνο συντήρησης. Τα αποτελέσματα ελέγχου της ισχύος γραμμικότητας των μεταβολών h_{CHM}, και $h_{IA.Cm}$ των δυο τεχνικών ως προς το χρόνο συντήρησης παρουσιάζονται στον Πίνακα 4. Η ανάλυση πραγματοποιήθηκε με βάση το συντελεστή συσχέτισης του Pearson (r) αφού πρόκειται για ζεύγη ποσοτικών μεταβλητών.

Πίνακας 4. Συντελεστές της γραμμικής σχέσης $h= \alpha \times t+\beta$ των παραμέτρων h_{CHM} και $h_{IA.Cm}$ ως προς το χρόνο συντήρησης των δειγμάτων καθώς και οι συντελεστές γραμμικής συσχέτισης αυτών.

0° C	**h_{CHM}**			**$h_{IA.Cm}$**		
	α	**β**	**r**	**α**	**β**	**r**
UF	-0.23	11 7.1	0.97g	0.50	10 8.6	0.99 g
UC	-0.41	11 5.8	0.99g	0.49	10 8.5	0.99 g
PF	0.10	11 4.9	0.81g	0.40	10 7.4	0.99 g
PC	0.06	11 2.8	0.55e	-0.27	10 5.9	0.99 g
10 °C	**h_{CHM}**			**$h_{IA.Cm}$**		
	α	**β**	**r**	**α**	**β**	**r**
UF	0.03	11 7.3	0.32d	0.22	11 1.9	0.95 g
UC	0.04	11 1.4	0.14d	0.11	11 7.0	0.95 g
PF	0.04	11 7.2	0.63e	0.50	10 8.9	0.99 g
PC	0.08	11 0.5	0.45d	-0.07	11 7.0	0.88 g

Οι δείκτες d, e, f, g αξιολογούν το βαθμό αξιοπιστίας της γραμμικής συσχέτισης ως εξής (Παπαδόπουλος, 2008):

$0.3 \le r < 0.5$ υπάρχει ασθενής γραμμική συσχέτιση: **d**

$0.5 \le r < 0.7$ υπάρχει μέση γραμμική συσχέτιση: **e**

$0.7 \le r < 0.8$ υπάρχει ισχυρή γραμμική συσχέτιση: **f**

$0.8 \le r < 1$ υπάρχει πολύ ισχυρή γραμμική συσχέτιση: **g**

4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Από την ανάλυση διαπιστώθηκε ότι η νέα μέθοδος IA.Cm προσδιορίζει σε όλες τις περιπτώσεις αποχρώσεις στην περιοχή του πράσινου ($103.06 \le h \le 119.77$). Στις ίδιες αποχρώσεις, εντός της περιοχής του πράσινου, καταλήγει και η ανάλυση των δεδομένων του χρωματομέτρου ($109.14 \le h \le 118.36$) (McGuire, 1992; Minolta, 1995; HunterLab, 2001).

Από την Εικόνα 4 προκύπτει ότι η μέγιστη τιμή του διαστήματος εμπιστοσύνης CL της χρωματικής παραμέτρου h* στην περίπτωση των μετρήσεων με τη τεχνική CHM είναι 0.85 ενώ στην περίπτωση των μετρήσεων με την τεχνική IA.Cm είναι 0.1. Η διαφορά αυτή οφείλεται στη δυνατότητα της νέας τεχνικής να μετρά το χρώμα σε κάθε εικονοστοιχείο (pixel) της ψηφιακής εικόνας δείγματος, η οποία αναλύεται (περίπου 90,000-110,000 ανά εικόνα) .

Η μεγαλύτερη απόλυτη διαφορά της γωνίας χροιάς $\Delta h=2.2\%$ (Εικόνα 5) εμφανίζεται στην περίπτωση του συσκευασμένου δείγματος

τεμαχισμένων φύλλων μαρουλιού στους 0 ^{o}C. Η μικρότερη απόλυτη διαφορά, Δh=0.1% παρουσιάζεται στην περίπτωση των ασυσκεύαστων τεμαχισμένων φύλλων στους 0 ^{o}C.

Η ανάλυση προσδιορισμού γραμμικής συσχέτισης του παράγοντα h* σε συνάρτηση με το χρόνο συντήρησης, έδειξε την ύπαρξη ασθενούς έως πολύ ισχυρής γραμμικότητας στις μεταβολές των παραμέτρων h της τεχνικής CHM. Στην περίπτωση όμως της νέας τεχνικής IA.Cm διαπιστώθηκε ύπαρξη πολύ ισχυρής γραμμικής συσχέτισης για κάθε χειρισμό και θερμοκρασία. Πιθανή εξήγηση της διαφοράς αυτής αποτελεί η δυνατότητα μέτρησης του χρώματος στο σύνολο σχεδόν της επιφάνειας των δειγμάτων με την τεχνική ανάλυσης ψηφιακών εικόνων IA.Cm

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

1. Η γωνιά χροιάς $h_{IA.Cm}$ κυμαίνεται σε διαστήματα τιμών πράσινης απόχρωσης όπως και οι αντίστοιχες τιμές h_{CHM}, και στις δύο πειραματικές σειρές. Το αποτέλεσμα αυτό τεκμηριώνει το γεγονός ότι η νέα αντικειμενική μέθοδος δεν παρουσιάζει σημαντικά χρωματικά σφάλματα.
2. Με τη νέα μέθοδο μέτρησης του χρώματος μετράται το χρώμα στο σύνολο σχεδόν της επιφάνειας των δειγμάτων μαρουλιού (κάθε μέτρηση με χρωματόμετρο προσδιορίζει το χρώμα σε επιφάνεια μόνον 50.24 mm^2).
3. Η μέθοδος IA.Cm εξαιτίας του μεγάλου αριθμού δεδομένων κάθε μέτρησης παρουσιάζει σημαντικά μικρότερα διαστήματα εμπιστοσύνης σε σχέση με την τεχνική CHM. Το αποτέλεσμα αυτό ενισχύει σημαντικά την αξιοπιστία της νέας μεθόδου.
4. Βασική αιτία των διαφοροποιήσεων οι οποίες παρατηρούνται στα αποτελέσματα της μεθόδου CHM έναντι αυτών της τεχνικής IA.Cm είναι η κατά πολύ μικρότερη επιφάνεια ανάλυσης χρώματος που πραγματοποιείται με το το χρωματόμετρο.
5. Το ποσοστό απόλυτης διαφοράς του παράγοντα της γωνίας χροιάς, $\Delta h=h_{IA.Cm}-h_{CHM}$ μεταξύ των δύο μεθόδων κυμαίνεται από 0.1% έως 2.2%, διαστήματα τα οποία κρίνονται ιδιαίτερα χαμηλά.
6. Η νέα μέθοδος τέλος είναι χαμηλότερου κόστους και σημαντικά γρηγορότερη σε σχέση με τη μέθοδο του χρωματομέτρου.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Clelland D. and Eismann K. 2001. Ψηφιακή φωτογραφία Εκδ. Anubis. Αθήνα. 405 σ.

HunterLab. 1996. CIE L*a*b* Color Scale. Vol. 8. No.7

Kader,A., 2002. Maturation and maturity index. Postharvest Technology of Horticultural crops. (ed. A. Kader), University of California Agr and Natural Resources Pub.3311 pp. 55-62.

Minolta. 1995. Chroma Meter CR – 300. Instruction Manual Minolta. Japan. p. 81

Yam, L. K. and Papadakis, S. E.. 2004. A simple digital imaging method for measuring and analyzing colour of food surfaces. Journal of Food Engineering, 61:137–142.

Παπαδόπουλος, Γ., 2008. Συσχέτιση δύο μεταβλητών. Σημειώσεις παραδόσεων εργαστηρίου μαθηματικών και στατιστικής. ΓΠΑ. www.aua.gr/gpapadopoulos

Χατζής Γ.Ε., Μανωλοπούλου Ε., Αραβαντινός-Καρλάτος Ε., Ξανθόπουλος Γ. και Λαμπρινός Γρ. 2009. Μελέτη της μεταβολής του χρώματος ελάχιστα επεξεργασμένων μήλων Golden delicious με ανάλυση ψηφιακών εικόνων. Πρακτικά 6ου Πανελλήνιου Συνέδριου Γεωργικής Μηχανικής. σσ. 787-794, 8-10 Οκτωβρίου. Θεσσαλονίκη.

Χατζής Ε., Ξανθόπουλος Γ. και Λαμπρινός Γρ., 2009. Συσκευή λήψης εικόνων με ψηφιακή κάμερα και μέθοδος μέτρησης του χρώματος φυτικών οργάνων. Αριθμ. Διπλ. Ευρεσ. ΟΒΙ :1006553, Ημ. Έκδοσης 02/10/2009.

ΑΣΥΡΜΑΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ: Ο ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΜΙΑΣ ΠΛΑΤΦΟΡΜΑΣ ΕΡΕΥΝΑΣ, ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΚΑΙ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΕΛΕΓΧΟ ΤΟΥ ΜΙΚΡΟΚΛΙΜΑΤΟΣ ΣΤΗ ΓΕΩΡΓΙΑ

Δημήτριος Πυρομάλης[1 2], Κωνσταντίνος Γ. Αρβανίτης[2], Δημήτριος Τσελές[1]

[1]Τμήμα Αυτοματισμού, Τεχνολογικό & Εκπαιδευτικό Ίδρυμα (Τ.Ε.Ι.) Πειραιά,
Οδός Πέτρου Ράλλη & Θηβών 250, Τ.Κ. 12244, Αιγάλεω, email: piromali@teipir.gr
[2] Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων & Γεωργικής Μηχανικής, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών,
Οδός Ιερά Οδός 75, Τ.Κ. 11855, Αθήνα, email: karvan@aua.gr

Η πρόοδος της μικροηλεκτρονικής και των επικοινωνιών επέτρεψαν την ραγδαία ανάπτυξη των ασυρμάτων δικτύων αισθητήρων την τελευταία δεκαετία. Η συμβολή των ασυρμάτων δικτύων αισθητήρων στην γεωργία είναι σημαντική διότι επιτρέπουν την ανάπτυξη εφαρμογών μέτρησης, παρακολούθησης και ελέγχου κρίσιμων παραμέτρων του μικροκλίματος στις καλλιέργειες. Στην εργασία αυτή παρουσιάζεται η μεθοδολογία σχεδιασμού μιας πλατφόρμας ενός δικτύου ασυρμάτων αισθητήρων για εφαρμογές στη γεωργία. Σύμφωνα με τη μεθοδολογία αυτή, διακρίνονται τρια διαφορετικά είδη χρήσης των ασυρμάτων δικτύων αισθητήρων, ήτοι η έρευνα, η ανάπτυξη, και η εκπαίδευση. Για κάθε ένα είδος χρήσης αναλύονται όλες οι ιδιαιτερότητες και οι απαιτήσεις από την πλευρά του χρήστη, των συστημάτων, και της εφαρμογής. Όλοι οι κρίσιμοι παράγοντες αυτοί κατηγοριοποιούνται σε τεχνολογικούς και οικονομικούς παράγοντες, καθώς και σε παράγοντες σχετικούς με τις ικανότητες και τις δεξιότητες των χρηστών. Στην συνέχεια παρουσιάζονται όλες οι πιθανές επιλογές σχεδιασμού ανά είδος χρήσης και κατηγορία παραγόντων. Στην συνέχεια της εργασίας παρουσιάζεται ένα παράδειγμα χρήσης της προτεινόμενης μεθοδολογίας. Το παράδειγμα αφορά στο σχεδιασμό και στην υλοποίηση ενός συστήματος δικτύου ασυρμάτων αισθητήρων για τον έλεγχο του μικροκλίματος καλλιεργειών. Το σύστημα στηρίζεται στο πρότυπο IEEE 802.15.4/ZigBee και περιλαμβάνει τους ασύρματους κόμβους αισθητήρων, τον κεντρικό ασύρματο ελεγκτή του δικτύου, την μονάδα διασύνδεσης με το διαδίκτυο μέσω δικτύου κινητής τηλεφωνίας, καθώς και την υποδομή για την εξ αποστάσεως παρακολούθηση και τον έλεγχο μέσω διαδικτυακού εξυπηρετητή. Η πλατφόρμα αυτή στοχεύει στην ανάπτυξη εφαρμογών σε υπαίθριες καλλιέργειες αλλά και στην εκπαίδευση των αγροτών στην τεχνολογία των ασυρμάτων δικτύων αισθητήρων. Με την προτεινόμενη μεθοδολογία γίνονται σαφείς οι παράμετροι σχεδιασμού μιας πλατφόρμας δικτύου ασυρμάτων αισθητήρων, διευκολύνεται ο σχεδιαστής στην συσχέτιση επιλογών σχεδιασμού και απαιτήσεων.

Λέξεις κλειδιά: Ασύρματα δίκτυα αισθητήρων, IEEE 802.15.4, ZigBee, Έλεγχος μικροκλίματος, Γεωργία ακριβείας

WIRELESS SENSOR NETWORKS: A RESEARCH, DEVELOPMENT AND EDUCATION PLATFORM DESIGN FOR MICROCLIMATE CONTROL IN AGRICULTURE

Dimitrios Piromalis[1 2] , Konstantinos G. Arvanitis[2], Dimitrios Tseles[2]
[1]Department of Automation, Technological & Educational Institute of Piraeus,
250, P. Ralli & Thivon Str., 12244, Aegaleo, Greece, email: piromali@teipir.gr
[2]Department of Natural Resources Management and Agricultural Engineering, Agricultural University of Athens,
75, Iera Odos Str., 11855, Athens, Greece, email: karvan@aua.gr

Vast progress in microelectronics and data communication technologies has effectively benefited the evolution of the wireless sensors networks technology last decade. Wireless sensors networks is a key technology for implementing applications for controlling microclimatic parameters and supporting precision agriculture. In this paper a method of design and implementing wireless sensors networks is presented. According to this method, there are three distinct activities areas, namely the research, the development, and the training. Each of these areas is characterized by different needs, requirements, users' profiles, inputs and outputs. This method can be used as a basis to justify the use of innovation and control the time as well as the cost parameters of an implementation. As an example of application of this method, the design of a fully functional wireless sensors network for microclimatic parameters control in agriculture based on IEEE 802.15.4/ZigBee and Web applications is presented as well.

Key words: Wireless sensor network, IEEE 802.15.4, ZigBee, Microclimate control, Precision agriculture

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η τεχνολογία των ασυρμάτων δικτύων αισθητήρων (WSN: Wireless Sensors Networks) εξελίχθηκε ραγδαία την τελευταία δεκαετία. Σ' αυτό βοήθησε σε μεγάλο βαθμό η ταυτόχρονη πρόοδος στις τεχνολογίες της μικροηλεκτρονικής και των επικοινωνιών δεδομένων. Για την γεωργία, τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων αποτελούν το «κλειδί» για την ανάπτυξη εφαρμογών για την γεωργία ακριβείας (precision agriculture). Όμως μια εφαρμογή ασυρμάτων δικτύων αισθητήρων για την γεωργία προϋποθέτει την γνώση πολλών επί μέρους

τεχνολογιών από διαφορετικές περιοχές γνώσης. Η εργασία αυτή παρέχει την μεθοδολογία για την αντιμετώπιση μιας τέτοιας ανάπτυξης.

Στην βιβλιογραφία δυστυχώς δεν αναφέρονται στοιχεία σχετικά με μεθοδολογίες για τον σχεδιασμό ασυρμάτων δικτύων αισθητήρων. Στην πράξη, ένας μικρός αριθμός ερευνητικών ομάδων σχεδιάζουν συστήματα ασυρμάτων δικτύων αισθητήρων τα οποία τις περισσότερες φορές είναι γενικού σκοπού (general purpose). Αυτά τα συστήματα στην συνέχεια υιοθετούνται αυτούσια από άλλες ερευνητικές ομάδες οι οποίες ασχολούνται με την μελέτη της λειτουργίας των δικτύων, ή με την μελέτη συγκεκριμένων εφαρμογών. Τέτοια συστήματα είναι π.χ. τα δημοφιλή Mica και Telos motes. Στον αντίποδα, η βιομηχανία προσφέρει λύσεις ασυρμάτων δικτύων αισθητήρων για την γεωργία αλλά αυτές οι λύσεις τις περισσότερες φορές στηρίζονται σε «κλειστά» πρωτόκολλα επικοινωνιών (proprietary protocols). Αυτό το τελευταίο χαρακτηριστικό καθιστά τις περισσότερες βιομηχανικές λύσεις ακατάλληλες για χρήση στην έρευνα.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1. Τα μέρη μιας εφαρμογής Ασυρμάτων Δικτύων Αισθητήρων

Μια εφαρμογή ασυρμάτων δικτύων αισθητήρων αποτελείται από μερικά συγκεκριμένα συστατικά μέρη, τις λειτουργικές υπομονάδες. Στον Πίνακα 1 παρουσιάζονται οι λειτουργικές υπομονάδες μαζί με το λειτουργικό επίπεδο στο οποίο ανήκουν.

Πίνακας 1. Οι λειτουργικές υπομονάδες και τα λειτουργικά επίπεδα μιας εφαρμογής ασυρμάτων δικτύων αισθητήρων.

#	Λειτουργικό Υποσύστημα	Επίπεδο Λειτουργιών
1	WSN Network Protocol	WSN
2	Nodes Hardware	WSN
3	Application Scenario	WSN
4	Transducers	WSN
5	WSN to WEB Gateway	WSN + GPRS + Web
6	Web Services	Web
7	Web Portal	Web
8	Data Base	Web + Data Bases

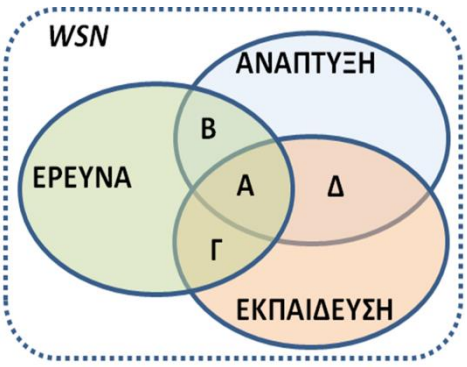
Τα λειτουργικά επίπεδα είναι τρία, το επίπεδο των ασυρμάτων κόμβων αισθητήρων (WSN), το επίπεδο της σύζευξης του ασυρμάτου δικτύου αισθητήρων με το διαδίκτυο (gateway), και το επίπεδο της υποδομής για την εξυπηρέτηση της εφαρμογής μέσω του διαδικτύου (Web).

2.2. Παράμετροι σχεδίασης εφαρμογών Ασυρμάτων Δικτύων Αισθητήρων

Οι εφαρμογές των ασυρμάτων δικτύων στην γεωργία μπορούν να μελετηθούν σε μικρό ή μεγάλο βάθος αναλόγως του που απευθύνονται, δηλαδή ποιοί είναι οι τελικοί χρήστες της εφαρμογής. Επίσης, αναλόγως των αναγκών και των απαιτήσεων διακρίνονται τρεις περιοχές ενασχόλησης με τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων, η έρευνα, η ανάπτυξη, και η εκπαίδευση. Κάθε περιοχή έχει τα δικά της ιδιαίτερα χαρακτηριστικά, όπως το προφίλ των χρηστών, το σύνολο των αναγκών σε τεχνολογία, συστήματα και εργαλεία, αλλά και το είδος των παραγόμενων προϊόντων και το είδος των αποδεκτών τους. Ένα συγκεκριμένο σενάριο εφαρμογής μπορεί επομένως να αντιμετωπίζεται με διαφορετικά κριτήρια από τους χρήστες των τριών αυτών διακριτών περιοχών δραστηριότητας.

Στην περιοχή της έρευνας ανήκουν ερευνητές από ιδρύματα και οργανισμούς οι οποίοι έχουν στόχο την επέκταση της υπάρχουσας τεχνολογικής γνώσης. Στην περιοχή της ανάπτυξης ανήκουν οι μηχανικοί της βιομηχανίας και έχουν στόχο την ανάπτυξη λύσεων και προϊόντων για την αγορά. Στην περιοχή της εκπαίδευσης ανήκουν οι τελικοί χρήστες στην γεωργία (αγρότες). Σχετικά με τις απαιτήσεις στην κάθε περιοχή δραστηριότητας, στην έρευνα δίνεται έμφαση σε ανοικτά και τυποποιημένα συστήματα και εργαλεία, στην ανάπτυξη δίνεται έμφαση στην χρήση τεχνολογιών για την μείωση του κόστους και την αύξηση της αξιοπιστίας των συστημάτων, ενώ στην τρίτη περιοχή, την εκπαίδευση, δίνεται έμφαση στην επικοινωνία του τελικού χρήστη με τα συστήματα και την επεξεργασία των δεδομε΄νων και των μετρήσεων.

Στην Εικόνα 1 απεικονίζονται οι τρεις περιοχές δραστηριοτήτων. Οι τομές που δημιουργούνται μεταξύ των τριών περιοχών, και σημειώνονται με τα γράμματα Α έως και Δ, εκφράζουν την χρήση των ερευνητικων αποτελεσμάτων στην ανάπτυξη και στην εκπαίδευση για την ικανοποίηση των απαιτήσεων και των αναγκών της κάθε μιας από τις δύο αυτές περιοχές δραστηριότητας. Συγκεκριμένα, η υποπεριοχή που υποδηλώνεται με το γράμμα Β εκφράζει τα αποτελέσματα της έρευνας που υιοθετούνται και χρησιμοποιούνται από την ανάπτυξη. Η υποπεριοχή που υποδηλώνεται με το γράμμα Γ εκφράζει τα αποτελέσματα της έρευνας που χρησιμοποιούνται από την εκπαίδευση. Με το γράμμα Α υποδηλώνεται η υποπεριοχή που εκφράζει ταυτόχρονα την χρήση των ερευνητικών αποτελεσμάτων για την κάλυψη των αναγκών της ανάπτυξης και της εκπαίδευσης. Τέλος, με το γράμμα Δ υποδηλώνεται η υποπεριοχή που εκφράζει την ανεξαρτησία από τα ερευνητικά αποτελέσματα (out of state-of-art).

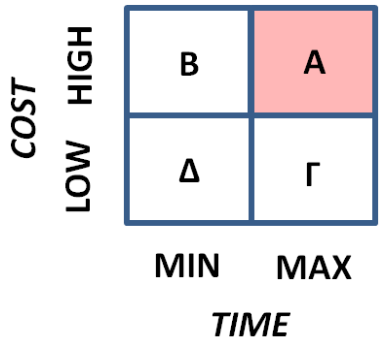


Εικόνα 1. Οι τρείς περιοχές δραστηριότητας για την υλοποίηση εφαρμογών ασυρμάτων δικτύων

αισθητήρων και οι επίδραση της έρευνας στην ανάπτυξη και στην εκπαίδευση.

Η δομή αυτή αναπαριστά το γεγονός πως για την ανάπτυξη μιας δεδομένης εφαρμογής ασυρμάτων δικτύων αισθητήρων μπορεί είτε να γίνει χρήση υψηλής τεχνολογιάς (Β και Γ), πολύ υψηλής τεχνολογίας με μεγάλη καινοτομία (Α), ή τεχνολογίας που βασίζεται σε ώριμες και δοκιμασμένες τεχνολογίες (Δ). Ως ώριμες τεχνολογίες μπορούν να οριστούν αυτές για τις οποίες έχει ξεκινήσει η έρευνα τουλάχιστον μία δεκαετία πριν, υπάρχουν διαθέσιμα εργαλεία ανάπτυξης υλικού και λογισμικού σε χαμηλό κόστος, και υπάρχουν αρκετές διαθέσιμες εμπορικές εφαρμογές (COTS: Consumer Of The Shelves).

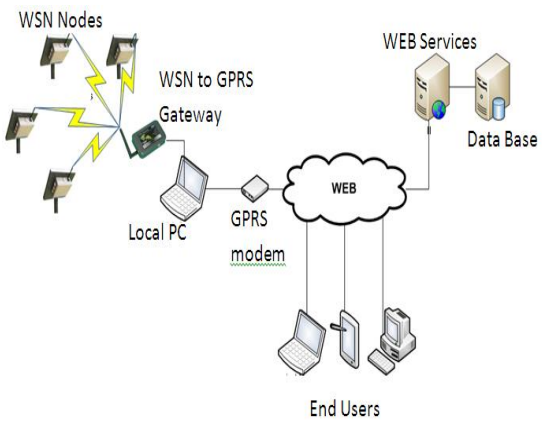
Στην Εικόνα 2 φαίνεται η επίδραση του βαθμού χρήσης της τεχνολογίας και της καινοτομίας (έρευνα) στο κόστος και στο χρόνο υλοποίησης μιας εφαρμογής ασυρμάτων δικτύων αισθητήρων. Με τα γράμματα Α έως και Δ υποδηλώνονται οι υποπεριοχές που εξηγήθηκαν προηγουμένως (Εικόνα 1).



Εικόνα 2. Η επίδραση στο κόστος και στον χρόνο υλοποίησης μιας εφαρμογής ασυρμάτων δικτύων αισθητήρων αναλόγως της χρήσης της έρευνας και της καινοτομίας,

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Έχοντας ως στόχο την ανάπτυξη μιας εφαρμογής ελέγχου του μικροκλίματος μέσω ασυρμάτων δικτύων αισθητήρων για την έρευνα, την ανάπτυξη και την εκπαίδευση, η αρχιτεκτονική που πρέπει να υλοποιηθεί, σύμφωνα με τα παραπάνω, είναι αυτή που παρουσιάζεται στην Εικόνα 3.



Εικόνα 3. Αρχιτεκτονική εφαρμογής ελέγχου μικροκλίματος στην γεωργία μέσω ασυρμάτων δικτύων αισθητήρων.

Οι απαιτήσεις για τον σχεδιασμό που προέρχονται από τις διαφορετικές ομάδες χρηστών είναι αρκετές και διαφορετικές μεταξύ τους. Για τους ερευνητές η έμφαση δίνεται κυρίως σε:

- Πρόσβαση στις λειτουργίες του πρωτοκόλλου επικοινωνίας,
- Ανάπτυξη αλγορίθμων σε κώδικα μικροελεγκτών,
- Επαναπρογραμματισμός των μικροελεγκτών των κόμβων,
- Λειτουργίες εκσφαλμάτωσης κώδικα μικροελεγκτών και μικροεπεξεργαστών εφαρμογών,
- Διασύνδεση με ποικιλία αισθητήρων και ενεργοποιητών
- Έλεγχος των λειτουργιών σε τοπικό επίπεδο
- Έλεγχος εξ' αποστάσεως,
- Δυνατότητα αλλαγής του πρωτοκόλλου επικοινωνίας.

Για τους μηχανικούς της βιομηχανίας η έμφαση δίνεται κυρίως σε:

- Χαμηλό κόστος εξοπλισμού,
- Αξιοπιστία λειτουργίας συστημάτων και εφαρμογής,
- Ανάπτυξη και διαχείριση και διατήρηση δικτύου,
- Έλεγχος εξ' αποστάσεως.

Για τους τελικούς χρήστες η έμφαση δίνεται κυρίως σε:

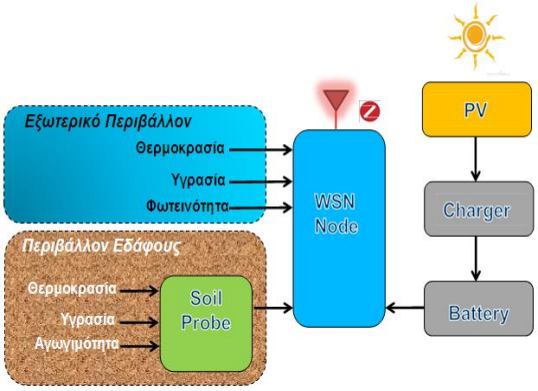
- Μεγάλη ενεργειακή αυτονομία,
- Χαμηλό κόστος απόκτησης,
- Μηδενικό κόστος λειτουργίας,
- Μηδενικός απαιτούμενος χώρος τοποθέτησης,
- Λειτουργίες παρακολούθησης δεδομένων
- Ανθεκτικότητα στην χρήση και στον χρόνο
- Μηδενική εμπλοκή στην διαχείριση και διατήρηση του δικτύου

Στο σύστημα που αναπτύξαμε προσπαθήσαμε να ικανοποιήσουμε όλες τις προαναφερόμενες απαιτήσεις. Στο σύστημα υπάρχουν οι ασύρματοι κόμβοι αισθητήρων, ο κεντρικός ασύρματος κόμβος (Coordinator), ο τοπικός ηλεκτρονικός υπολογιστής, το GPRS modem για την διασύνδεση με το διαδίκτυο, οι διαδικτυακές υπηρεσίες (Web services), η βάση δεδομένων (Data base) και τέλος, η διαδικτυακή εφαρμογή διαχείρισης πρόσβασης χρηστών και ανταλλαγής δεδομένων (Web portal).

Η τεχνολογία που χρησιμοποιήθηκε επιλέχθηκε να είναι ώριμη (υποπεριοχή Δ) ώστε να μειωθούν το κόστος και ο χρόνος υλοποίησης. Από την άλλη πλευρά, δώθηκε έμφαση στην υλοποίηση λειτουργιών ώστε να καλύπτονται οι ανάγκες των χρηστών της κάθε περιοχής δραστηριοτήτων (έρευνα, ανάπτυξη, εκπαίδευση).

Στην Εικόνα 4 φαίνεται το μπλοκ διάγραμμα του ασύρματου κόμβου αισθητήρων που σχεδιάστηκε

και υλοποιήθηκε. Συγκεκριμένα, ο ασύρματος κόμβος τροφοδοτείται από μπαταρία η οποία φορτίζεται από φωτοβολταϊκό πάνελ, και έχει διασυνδεδεμένα πάνω του αισθητήρια για την μέτρηση της φωτεινότητας, της υγρασία και της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος, αλλά και αισθητήρα μέτρησης υγρασίας, θερμοκρασίας και ηλεκτρικής αγωγιμότητας εδάφους.



Εικόνα 4. Μπλοκ διάγραμμα ασύρματου κόμβου αισθητήρων για τον έλεγχο μικροκλίματος στην γεωργία.

Στην Εικόνα 5 παρουσιάζονται η εμπρός και πίσω όψη του ασύρματου κόμβου όπως αυτός υλοποιήθηκε ειδικά για χρήση στο περιβάλλον της γεωργίας.

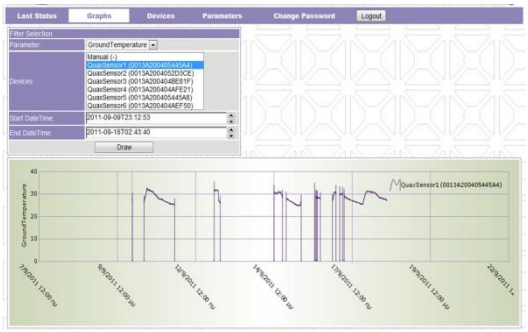
Το πρωτόκολλο που χρησιμοποιήθηκε για την επικοινωνία των ασυρμάτων κόμβων αισθητήρων είναι το IEEE 802.15.4/ZigBee. Οποιοδήποτε άλλο πρωτόκολλο επικοινωνίας μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί όταν αυτό απαιτείται για ερευνητικούς λόγους.Ο τοπικός υπολογιστής έχει τοποθετηθεί για να δίνει την δυνατότητα στους χρήστες να ελέγχουν τις λειτουργίες του συστήματος σε τοπικό επίπεδο. Ο ηλεκτρονικός υπολογιστής μπορεί να αντικατασταθεί από ενσωματωμένη αυτόνομη συσκευή (Embedded Gateway).

Η διασύνδεση με το διαδίκτυο επιτυγχάνεται μέσω της χρήσης GPRS modem.

Εικόνα 5. Εμπρός και πίσω όψη του ασύρματου κόμβου αισθητήρων για χρήση στο περιβάλλον της γεωργίας.

Οι χρήστες μπορούν να ελέγχουν τις λειτουργίες, τις παραμέτρους και τα δεδομένα των μετρήσεων μέσω της πρόσβασης στην ηλεκτρονική σελίδα της διαδικτυακής εφαρμογής (Web portal) κάνοντας χρήση του φορητού τους υπολογιστή, του κινητού, ή της ταμπλέτας τους. Τα δικαιώματα κάθε χρήστη καθορίζονται σύμφωνα με την περιοχή δραστηριότητας που αυτός ανήκει (έρευνα, ανάπτυξη, εκπαίδευση).

Στην Εικόνα 6 φαίνεται μία από τις σελίδες της διαδικτυακής εφαρμογής στην οποία ο χρήστης μπρεί να δει σε μορφή γραφικής παράστασης τις τιμές των μετρήσεων των αισθητήρων των ασύρματων κόμβων.



Εικόνα 6. Απεικόνιση σε γραφική παράσταση των τιμών μέτρησης από τους αισθητήρες των ασυρμάτων κόμβων στο πεδίο.

4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Είναι πολύ χρήσιμο να γίνεται σαφής διαχωρισμός των εμπλεκομένων ρόλων σε μια υλοποίηση εφαρμογής. Επίσης, η καινοτομία πρέπει να είναι ευθυγραμμισμένη με τις ανάγκες, τις απαιτήσεις και το ανεκτό κόστος υλοποίησης.

Κατα κύριο λόγο η ευθύνη για την εφαρμογή της προτεινόμενης μεθόδου ανήκει στην περιοχή της ανάπτυξης. Η βιομηχανία δηλαδή, είναι αυτή που οφείλει να λειτουργεί ως συνδετικός κρίκος μεταξύ των άλλων περιοχών δραστηριοτήτων είτε μέσω της υλοποίησης των αποτελεσμάτων της έρευνας σε μορφή προϊόντων, είτε μέσω της ανάπτυξης εργαλείων για την έρευνα.

Το παράδειγμα του συστήματος που σχεδιάσαμε μας επιβεβαιώνει πως το κόστος και ο χρόνος ανάπτυξης αυξάνονται όσο περισσότερες απαιτήσεις από διαφορετικές περιοχές χρήσης ενσωματώνει το σύστημα.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ο διαχωρισμός των δραστηριοτήτων σε διακριτές περιοχές μπορεί να βοηθήσει στην υλοποίηση εφαρμογών ασυρμάτων δικτών αισθητήρων για την γεωργία.

Με την μέθοδο αυτή μπορεί να πραγματοποιηθεί ευκολότερα η διάκριση των διαφορετικών ρόλων, αναγκών και απαιτήσεων όλων των εμπλεκομένων μερών στον σχεδιασμό, στην υλοποίηση και στην χρήση εφαρμογών ασυρμάτων δικτύων αισθητήρων για την γεωργία.

Ακολουθώντας την μέθοδο αυτή, το κόστος και ο χρόνος υλοποίησης μπορούν να ελέγχονται σε σχέση με τον βαθμό καινοτομίας που απαιτείται κατά περίπτωση.

Σημαντική προϋπόθεση για τον σχεδιασμό ενός συστήματος ασύρματου δικτύου αισθητήρων είναι η πολύ καλή γνώση όλων των παραμέτρων

σχεδιασμού. Μία παράμετρος που έχει αγνοηθεί μπορεί να οδηγήσει στην αποτυχία μιας εφαρμογής.

Στο προσεχές μέλλον θα μελετηθούν και θα παρουσιαστούν περισσότερα παραδείγματα χρήσης της προτεινόμενης μεθόδου μέσω εφαρμογών κατά περίπτωση (case studies).

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Άρθρα Συνεδριών

Polastre, J., R. Szewczyk, and D. Culler. 2005.Telos: Enabling ultra-low power wireless research. *4th International Symposium on Information Processing in Sensor Networks, IPSN 2005* 2005 , art. no. 1440950 , pp. 364-369

Brusey, J., E. Gaura, and R. Hazelden. 2011WSN deployments: Designing with patterns. *Proceedings of IEEE Sensors*, art. no. 6127129 , pp. 71-76

Gädeke, T., T. Schwalb, J. Schmid, W. Stork, and K. D. Müller-Glaser. 2012. Hybrid person localization in ad-hoc networks using model-based control and visualization. *2012 IEEE 1st International Symposium on Wireless Systems - Within the Conferences on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems, IDAACS-SWS 2012* , art. no. 6377622 , pp. 13-18

Peter, S. and P. Langendörfer. 2012. Tool-supported methodology for component-based design of wireless sensor network applications. *Proceedings - International Computer Software and Applications Conference* , art. no. 6341630 , pp. 526-531

Περιοδικά

Ruiz-Garcia, L., L. Lunadei, P. Barreiro and J.I. Robla. 2009. A review of wireless sensor technologies and applications in agriculture and food industry: State of the art and current trends. *Sensors* (Switzerland), 9(6), pp. 4728-4750.

Wang, N., N. Zhang and M. Wang. 2006. Wireless sensors in agriculture and food industry - Recent development and future perspective. *Computers and Electronics in Agriculture*, 50(1), pp. 1-14.

Yu, X., P. Wu, W. Han and Z. Zhang. 2013. A survey on wireless sensor network infrastructure for agriculture. *Computer Standards and Interfaces*, 35(1), pp. 59-64.

Egbogah, E. E. and A. O. Fapojuwo. 2011. A survey of system architecture requirements for health care-based wireless sensor networks. Sensors 11, no. 5: 4875-4898,

Κεφάλαια βιβλίων

Suhonen, J., M. Kohvakka, V. Kaseva, T.D. Hämäläinen and M. Hännikäinen, 2012, Low-Power Wireless Sensor Networks – Protocols, Services and Applications, 2012, XIII. 83 p. 83 p. 32, Springer, ISBN: 978-1-4614-2172-6.

ΑΝΑΘΕΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΕΡΓΑΣΙΩΝ ΓΙΑ ΟΜΑΔΕΣ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΩΝ ΣΤΗΝ ΕΦΟΔΙΑΣΤΙΚΗ ΑΛΥΣΙΔΑ ΒΙΟΜΑΖΑΣ

Άννα Ορφανού[1] , Δημήτριος Παύλου[1] , Gareth Edwards[1], Διονύσης Μπόχτης[1]
[1] Department of Engineering, University of Aarhus, Faculty of Science and Technology, Blichers Allé 20, 8830 Tjele, Denmark

Η τρέχουσα ανάπτυξη πολύπλοκων συστημάτων αγροτικής παραγωγής και διάθεσης των αντίστοιχων προϊόντων, όπως για παράδειγμα, η περίπτωση της παραγωγής βιομάζας που προορίζεται για βιοενέργεια, απαιτεί προηγμένα εργαλεία διαχείρησης για τον προγραμματισμό και το συντονισμό των εμπλεκόμενων μηχανημάτων. Σε αυτή την εργασία παρουσιάζεται μέθοδος ανάθεσης και προγραμματισμού εργασιών σε ομάδες μηχανημάτων για τη συγκομιδή και χειρισμό της βιομάζας. Για την επίλυση του προβλήματος αναπτύχθηκε στοχευμένος αλγόριθμος βελτιστοποίησης. Ο αλγόριθμος λαμβάνει υπόψη ειδικούς επιχειρησιακούς παράγοντες όπως τη γεωγραφική τοποθεσία και την έκταση των αγρών, το διαθέσιμο μηχανικό εξοπλισμό, τα χαρακτηριστικά των μηχανημάτων και την αναμενόμενη απόδοσή τους. Η έξοδος του αλγόριθμου παρέχει τη βελτιστοποιημένη ανάθεση εργασιών στα διαθέσιμα μηχανήματα και τη βελτιστοποιημένη διαδοχή των εργασιών αυτών. Το κριτήριο βελτιστοποίησης είναι ο χρόνος της συνολικής εργασίας επιχείρησης (μέχρι να ολοκληρωθούν όλες οι επιμέρους εργασίες σε όλους τους αγρούς). Παρουσιάζονται αποτελέσματα από την εφαρμογή της μεθόδου σε περιπτώσεις που αντιστοιχούν στα επιχειρησιακά χαρακτηριστικά της παραγωγής βιομάζας στην Ελλάδα.

Λέξεις κλειδιά: Προγραμματισμός εργασιών, βιομάζα, βελτιστοποίηση, εφοδιαστική αλυσίδα

ASSIGNEMENT AND SCHEDULING FOR MACHINERY GROUPS IN BIOMASS SUPPLY CHAIN

Anna Orfanou[1], Dimitrios Pavlou[1], Gareth Edwards[1], Dionysis Bochtis[1]
[1] Department of Engineering, University of Aarhus, Faculty of Science and Technology, Blichers Allé 20, 8830 Tjele, Denmark
annaorf@yahoo.gr, dmpavlou@gmaill.com, gtcedwards@hotmail.co.uk, Dionysis.Bochtis@agrsci.dk

The current development of complex agricultural production and provision systems, e.g. the case of biomass for bioenergy use, requires advanced management tools for scheduling and coordination of the involved machinery. This paper presents a method for assignment and scheduling of machinery teams for harvesting and handling of biomass. An optimization algorithm was developed for the solution of the optimisation problem. The algorithm takes into account specific operational factors such as the geographic location and the area of the fields, the available machinery, their features, and their predicted performance. The output of the algorithm provides the optimised assignment of operations to machines and the optimised sequence for the execution of these operations. The optimisation criterion is the completion time of the overall operation. Results are presented from the application of the method in case studies corresponding to the operational characteristics of biomass production in Greece.

Key words: Scheduling, biomass, optimization, supply chain

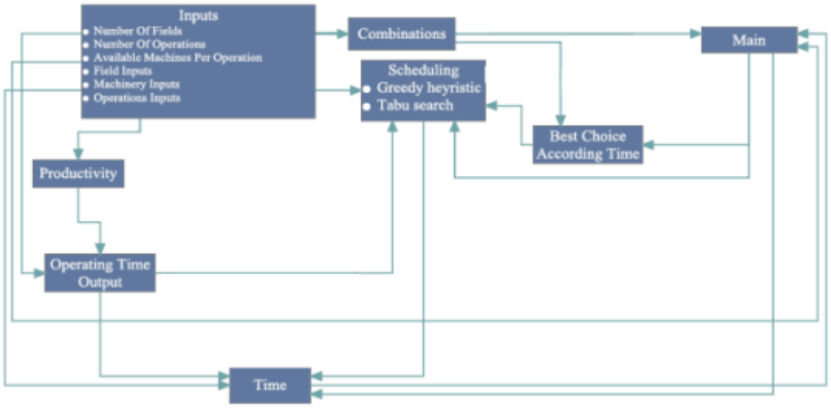
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Κατά τη συγκομιδή της βιομάζας πραγματοποιείται ένας αριθμός διαδοχικών εργασιών όπου η διάρκεια κάθε εργασίας εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως για παράδειγμα, η εμπειρία και η ικανότητα των εργαζομένων, ο διαθέσιμος εξοπλισμός, η μορφολογικές συνθήκες του αγρού, το ακολουθούμενο σχέδιο εργασίας, κτλ. (Basnet et al., 2006). Ως εκ τούτου, ο προγραμματισμός των εργασιών, δηλαδή ο καθορισμός του χρόνου έναρξης της κάθε εργασίας, καθώς και η επιλογή των πόρων από ένα σύνολο διαθέσιμων πόρων (εργατικό δυναμικό, εξοπλισμός κλπ.), είναι κρίσημα σημεία της διαδικασίας λήψης αποφάσεων. Δυστυχώς, αυτό που συνήθως συμβαίνει στην πραγματικότητα είναι ο προγραμματισμός και η ανάθεση των εργασίων να γίνεται σύμφωνα με την εμπειρία του διαχειριστή και όχι με βάση εργαλεία στήριξης αποφάσεων.

Γενικά τα κριτήρια που μπορούν να ληφθούν υπόψην στη βελτιστοποίηση της συγκομιδής βιομάζας και αφορούν το μέγεθος του χρόνου είναι (Bochtis, 2010) :

1. Ελαχιστοποίηση της μέγιστης καθυστέρησης
2. Ελαχιστοποίηση της συνολικής σταθμισμένης βραδύτητας
3. Ελαχιστοποίηση του συνολικού χρόνου (makespan)
4. Ελαχιστοποίηση συνολικού σταθμισμένου χρόνου ολοκλήρωσης

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται ένας αλγόριθμος βελτιστοποίησης του προγραμματισμού των εργασιών για συγκομιδή βιομάζας με βάση την εξοικονόμηση χρόνου.



Εικόνα 1. Αρχιτεκτονική απεικόνιση του προγραμματισμού.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Ο αλγόριθμος του προγραμματισμού βασίζεται σε δύο αλγοριθμικές προσεγγίσεις, τις tabu search και greedy heuristic (Εικόνα 1). Ο αλγόριθμος είναι βασισμένος σε τροποποιήσεις της μεθόδου που αναπτύχθηκε από Basnet et al. (2006). Η είσοδος του αλγορίθμου περιλαμβάνει: α)δεδομένα αγρών, όπως έκταση και αποστάσεις μεταξύ τους, κλπ., β) δεδομένα μηχανημάτων, όπως αριθμός, είδος, πλάτος εργασίας, κλπ., και γ) λειτουργικά δεδομένα, όπως διαδοχικές εργασίες, ταχύτητα μηχανής κατα την εργασία, κλπ.. Η έξοδος του αλγορίθμου παρέχει: α) τη βέλτιστη ανάθεση εργασιών στα διαθέσιμα μηχανήματα, β) τη βέλτιστη διαδρομή για κάθε μηχάνημα, και γ) το βέλτιστο χρονοδιάγραμμα των εργασιών αυτών με βάση την ελαχιστοποίηση του χρόνου εργασίας (makespan).

(α) (β)

Εικόνα 2. Χάρτες των αγρών της μελέτης περίπτωσης οι οποίοι βρίσκονται σε (α) απομακρυσμένες και (β) γειτονικες αποστάσεις

3. ΕΦΑΡΜΟΓΗ

Σε αυτή τη μελέτη έχουν επιλεχθεί τρεις διαδοχικές εργασίες στη συγκομοιδή βιομάζας για την εφαρμογή του αλγόριθμου του προγραμματισμού. Οι τρεις αυτές εργασίες είναι η κοπή, η δημιουργία γραμμικών σωρών και η δεματοποίηση. Παρουσιάζεται ένα σενάριο (σεναριο Α) όπου έχουν επιλεχθεί 6 αγροί σε σχετικά απομακρυσμένες αποστάσεις, με μέση μεταξύ τους απόσταση 5.548 m (Εικόνα 2α), και ένα δεύτερο σενάριο (σεναριο Β) όπου έχουν επιλεχθεί 6 αγροί σε σχετικά γειτονικές αποστασεις, με μέση απόσταση 2.388 m (Εικόνα 2β). Οι αγροί ανήκουν στην περιοχή της Θεσαλίας. Ο Πίνακας 1 και ο Πίνακας 2 δίνουν την έκταση των αγρών, τις αποστάσεις μεταξύ των αγρών καθώς και τις αποστάσεις μεταξύ της μονάδας προορισμού και των αγρών.

Πίνακας 1. Σενάριο Α, αποστάσεις μεταξύ των αγρών, αγρών από τη μονάδα προορισμού (Μ.Π.)

	Αποστάσεις (m)							Έκταση
	F1	F2	F3	F4	F5	F6	Μ.Π.	(ha)
F1		4000	5800	4900	6100	5900	1900	3.45
F2			3700	8200	9400	9200	4500	3.02
F3				6000	8400	8500	4500	8.42
F4					2300	4800	3900	3.14
F5						3100	5800	3.21
F6							5600	2.76

Πίνακας 2. Σενάριο Β, αποστάσεις μεταξύ των αγρών, αγρών από τη μονάδα προορισμού (Μ.Π.)

	Αποστάσεις (m)							Έκταση
	F1	F2	F3	F4	F5	F6	Μ.Π.	(ha)
F1		1100	2100	3400	2900	1500	650	3.23
F2			2800	4500	4000	2600	1700	2.06
F3				2500	2000	3400	1600	3.27
F4					500	2400	3000	1.31
F5						2300	2700	4.03
F6							2500	1.09

Για την εργασία της κοπής, η αποδοτικότητα του αγρού έχει ορισθεί 0.8 για μία (βέλτιστη) ταχύτητα εργασίας 11 km/h (ASAE D497.5, 2006). Για την εργασία της δημιουργίας γραμμικών σωρών, η αποδοτικότητα του αγρού έχει ορισθεί 0.8 για μία (βέλτιστη) ταχύτητα εργασίας 10 km/h (ASAE D497.5, 2006). Για την εργασία της δεματοποίησης, η αποδοτικότητα του αγρού έχει ορισθεί 0.65 για μία (βέλτιστη) ταχύτητα εργασίας 8 km/h (ASAE D497.5, 2006). Για όλους τους τύπους των μηχανημάτων, η ταχύτητα μεταφοράς από αγρό σε αγρό έχει ορισθεί 15 km/h ενώ οι χρόνοι προετοιμασίας έχουν ορισθεί σε 15 min για την εργασία κοπής, 15 min για την εργασία δημιουργίας γραμμικών σωρών και 20 min για την εργασία δεματοποίησης (DAAS, 2011).

Πίνακας 3. Παράμετροι των επιλεγμένων μηχανημάτων

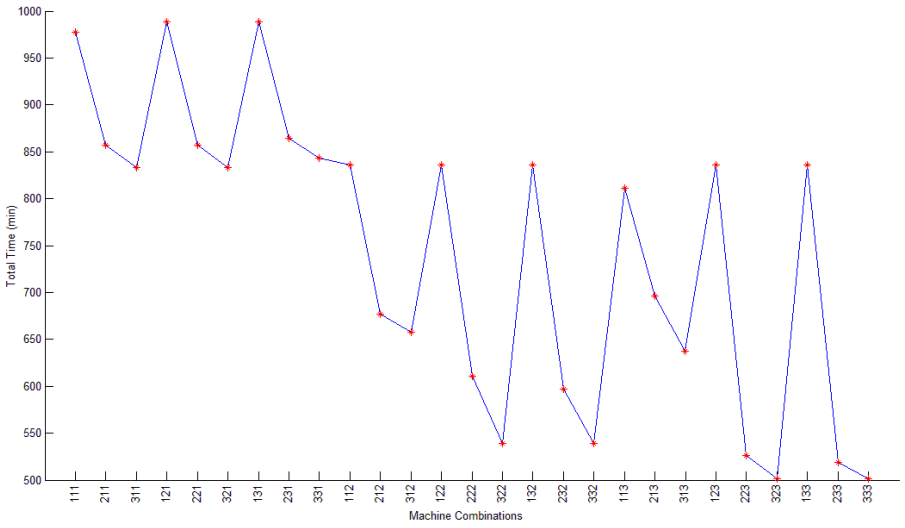
Μηχανήματα	Πλάτος εργασίας[β] (m)	Παράγοντες επισκευής[α]		Τιμή καταλ.[β] (€)	[α](€)
		RF1	RF2		
Γεωρ. Ελκυστ.					
70 kW		0.007	2.0	53,000	2,500
40 kW		0.007	2.0	35,000	2,500
75 kW		0.007	2.0	53,000	2,500
Παρελκόμενα					
Περιστρ. θεριστής	3.10	0.44	2.0	26,857	2,000
Side delivery rake	6.05	0.17	1.4	10,743	2,500
Μεγ. Χορτοδετικό	6.05	0.43	1.8	67,142	1,500

α: ASAE D497.5 (2006). β: DAAS (2011)

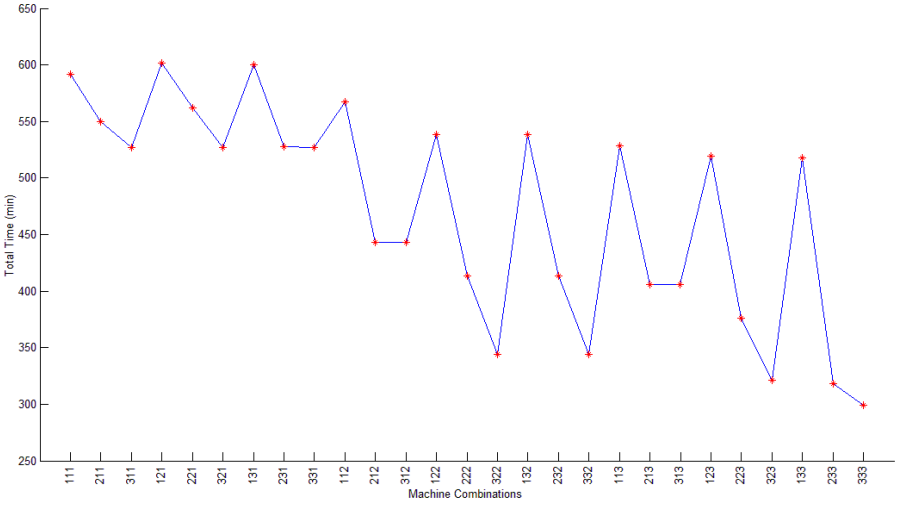
4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Το Διάγραμμα 1 παρουσιάζει το συνολικό χρόνο (makespan) για όλους τους συνδυασμούς που προκύπτουν για μέγιστο αριθμό μηχανημάτων 3-3-3 (εργασία κοπής – δημιουργίας γραμμικών σωρών - δεματοποίησης) για (α) το σενάριο Α και (β) το σενάριο Β. Πρέπει να σημειωθεί ότι οι διακυμάνσεις στο γράφημα προκύπτουν λόγω της σειράς που οι συνδυασμοί των μηχανημάτων παρουσιάζονται. Όπως φαίνεται οι συνδυασμοί των μηχανημάτων που παρέχουν ελάχιστο χρόνο εργασίας για την περίπτωση των απομακρυσμένων αγρών είναι 3-2-3 και 3-3-3 (8.35 h), και για την περίπτωση των γειτονικών αγρών ο αντίστοιχος συνδυασμός είναι 3-3-3 (4.99 h).

Ο βέλτιστος προγραμματισμός για τις περιπτώσεις με το χαμηλότερο χρόνο εργασίας παρουσιάζεται στο Διάγραμμα 2. Τα χρώματα στις μπάρες των γραφημάτων συμβολίζουν χρονικά στοιχεία, συγκεκριμένα, το καφέ χρώμα αντιπροσωπεύει τους χρόνους μετακίνησης του μηχανήματος μεταξύ των αγρών, το κίτρινο χρώμα δείχνει τους χρόνους προετοιμασίας του μηχανήματος και το πράσινο χρώμα αντιστοιχεί στον εντός αγρού χρόνο εργασίας. Το λευκό χρώμα δείχνει τους χρόνους που το μηχάνημα είναι ανενεργό. Σε αυτόν τον τύπο προγραμματισμού, υπάρχει η παρουσία «περιορισμού προτεραιοτήτων», όπου απαιτείται μία εργασία σε έναν αγρό να έχει ολοκληρωθεί προκειμένου να ξεκινήσει η επόμενη στον ίδιο αγρό (Bochtis, 2010). Οι χρόνοι αναμονής είναι αποτέλεσμα αυτού του περιορισμού.



(α)

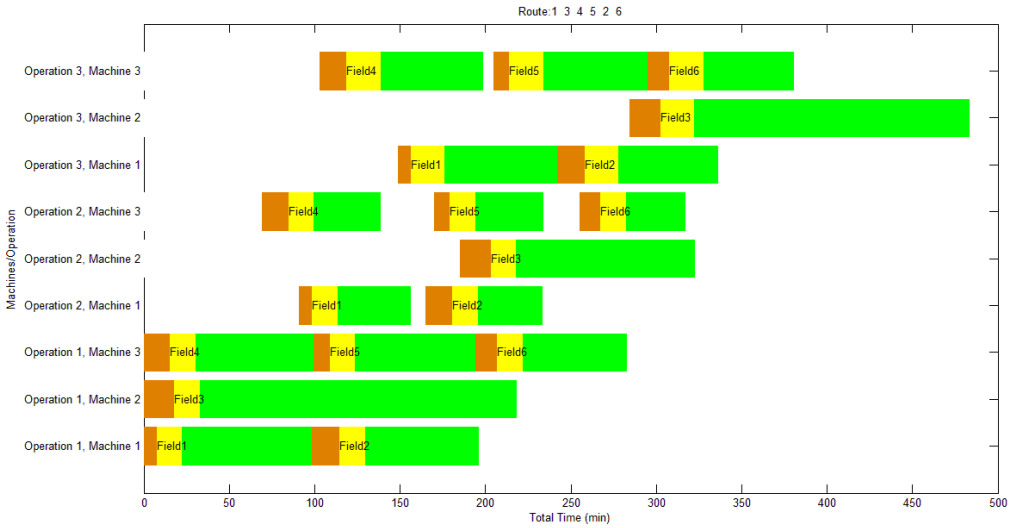


(β)

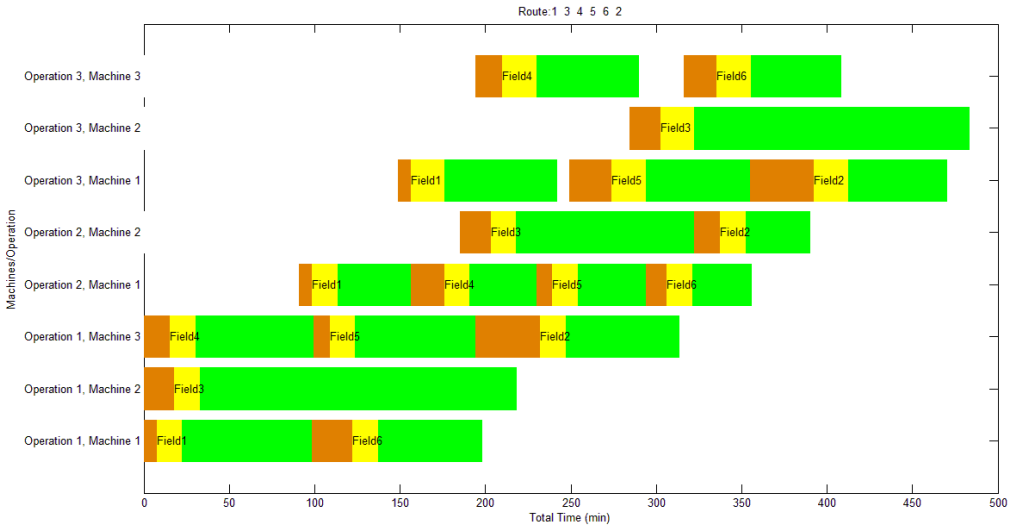
Διάγραμμα 1. Συνολικός χρόνος για κάθε συνδυασμό μηχανημάτων για (α) απομακρισμένους και (β) γειτονικούς αγρούς

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

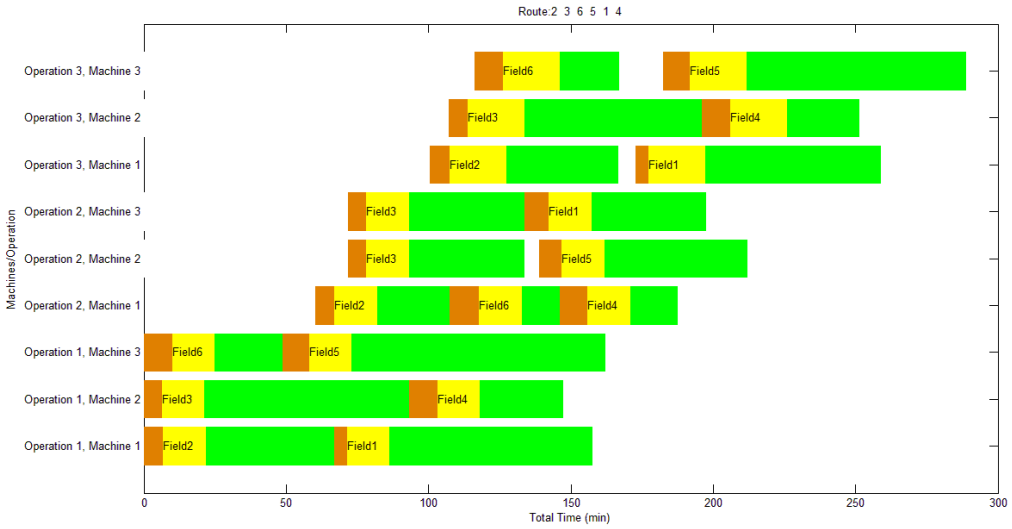
Στην εργασία αυτή παρουσιάστηκε μία προσέγγιση του προβλήματος προγραμματισμού και ανάθεσης μηχανημάτων των διαδοχικών εργασιών (κοπής, δημιουργίας γραμμικών σωρών, δεματοποίηση) για τη συγκομοιδή βιομάζας η οποία περιλαμβάνει τον υπολογισμό του συνολικού χρόνου εργασίας. Στόχος της ανάπτυξης της μεθόδου αυτής είναι η περαιτέρω ενσωμάτωσή της σε ολοκληρωμένο σύστημα διαχείρισης εφοδιαστικής αλυσίδας βιομάζας.



(α_1)



(α_2)



(β)

Διάγραμμα 2: Βέλτιστος προγραμματισμός εργασιών με βάση το κριτήριο ελαχιστοποίησης του συνολικού χρόνου για τα δύο σενάρια που εξετάστηκαν (α_1, α_2) απομακρυσμένους αγρούς και (β) γειτονικούς αγρούς

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ASAE D497.6, 2009. Agricultural machinery management data. In ASABE STANDARD 2009. (Ed.), ASABE, Vol. I (pp. 360e367). St. Joseph, MI, USA: American Society of Agricultural and Biological Engineers.

Basnet, C. B., L. R. Foulds and J. M. Wilson, 2006. Scheduling contractors' farm-to-farm crop harvesting operations. International Transactions in Operational Research 13, 1 – 5.

Bochtis, D.D., 2010. Machinery management in bio-production systems: planning and scheduling aspects. Agricultural Engineering International: CIGR Journal, 12, (2) 55-63.

Bochtis, D. D. and C. G. Sørensen, 2010. The vehicle routing problem in field logistics: Part II. Biosystems Engineering, 105(2), 180-188.

DAAS. (2011). Danish field database. The Danish Agricultural Advisory Service. http://www.landscentret.dk

Sokhansanj, S., 2006. Cost benefit of biomass supply and pre – processing. University of British Columbia.

ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΕ ΑΥΤΟΝΟΜΑ ΔΙΚΤΥΑ ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

Χρήστος – Σπυρίδων Καραβάς, Σωτήριος Αλεξάκης, Γεώργιος Κυριακαράκος, Κωνσταντίνος Αρβανίτης, Γεώργιος Παπαδάκης

Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων & Γεωργικής Μηχανικής, Ιερά Οδός 75, 11855 Αθήνα τηλ. 210 5294046, *e-mail: ckarav@aua.gr

Αυτή η εργασία παρουσιάζει τις δυνατότητες των αυτόνομων μικροδικτύων που βασίζονται σε τεχνολογίες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας με σκοπό την κάλυψη αναγκών σε απομακρυσμένες περιοχές με έμφαση στο στοιχείο της αποθήκευσης ενέργειας. Στην εργασία παρουσιάζονται οι διαθέσιμες τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας και τα τεχνικά τους χαρακτηριστικά. Από την ανασκόπηση αυτή αναδεικνύονται δυνατότητες και προοπτικές συνδυασμού περισσοτέρων από μία μεθόδους αποθήκευσης σε ένα μικροδίκτυο. Η ταυτόχρονη χρήση πολλαπλών τεχνολογιών αποθήκευσης μπορεί να γίνει λειτουργική μόνο με τη χρήση εξελιγμένων αλγορίθμων διαχείρισης. Σαν παράδειγμα παρουσιάζεται ένα σύστημα πολλαπλής αποθήκευσης της ενέργειας αποτελούμενο από τυπικούς συσσωρευτές βαθιάς εκφόρτισης σε συνδυασμό με υβριδικούς υπερπυκνωτές. Το μικροδίκτυο ελέγχεται από έναν εξελιγμένο αλγόριθμο διαχείρισης και διασφαλίζει τόσο την συνεχή παροχή ισχύος στις καταναλώσεις όσο και ότι ο συσσωρευτής δεν θα υποστεί βαθιά εκφόρτιση.

Λέξεις Κλειδιά : ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, μικροδίκτυο ηλεκτροπαραγωγής, αποθήκευση

COMPARATIVE REVIEW ABOUT THE METHODS OF ENERGY STORAGE IN GRID POWER NETWORKS

Christos – Spyridon Karavas, Sotiris Alexakis, George Kyriakarakos, Konstantinos Arvanitis, George Papadakis

Department of Natural Resources and Agricultural Engineering, Agricultural University of Athens, 75 Iera odos street, GR 11855 Athens, Greece Tel. +30 210 5294046; Fax +30 210 5294032, *e-mail: ckarav@aua.gr

This paper intends to highlight the capabilities of the autonomous microgrids that incorporate renewable energy sources in order to cover the energy needs in remote areas. The aspect of energy storage is crucial in autonomous microgrids. This paper presents the available energy storage technologies and corresponding technical aspects. The autonomous microgrids must include control and load management systems and the use of multiple storage units requires advanced control algorithms. As an example a multi-storage system consisting of a hybrid ultra capacitor and a typical deep discharge solar battery is presented. The micro grid is controlled by an advanced control algorithm that ensures the continuous supply of power to the consumption and ensures no deep discharging of the batteries.

Key words: renewable energy sources, micro grid, energy storage

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το αντικείμενο της παρούσας εργασίας εντάσσεται στο γενικότερο ερευνητικό πεδίο των συστημάτων Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) και μονάδων αποθήκευσης ενέργειας. Τα περισσότερα μέρη που δεν είναι διασυνδεδεμένα με το κεντρικό δίκτυο παραγωγής και διανομής ενέργειας χρησιμοποιούν κυρίως συμβατικές μονάδες παραγωγής με ορυκτά καύσιμα για την ηλεκτροπαραγωγή. Η λειτουργία των μονάδων αυτών έχει ως αποτέλεσμα τη παραγωγή υψηλής ισχύος αλλά δημιουργεί σήμερα σημαντικούς προβληματισμούς. Είναι γνωστό ότι η καύση ορυκτών καυσίμων έχει ως αποτέλεσμα την εκπομπή αερίων (CO2), οι οποίοι είναι ρυπογόνοι για το περιβάλλον με διάφορα αρνητικά αποτελέσματα όπως την υπερθέρμανση του πλανήτη. Επίσης οι σταθερά αυξανόμενες τιμές του πετρελαίου, το μεγάλο κόστος για τη μεταφορά των καυσίμων, καθώς και το κόστος για την αγορά δικαιωμάτων εκπομπών CO_2 καθιστούν ολοένα και πιο αντιοικονομική τη λειτουργία των συμβατικών σταθμών. Μία πρώτη αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος αποτελεί η δημιουργία αυτόνομων συστημάτων ενέργειας περιλαμβανομένου από ανανεώσιμες μονάδες παραγωγής ενέργειας. Αυτό θα έχει σαν αποτέλεσμα τον περιορισμό της χρήσης των συμβατικών μονάδων και συνεπώς την οικονομικότερη και πιο φιλική προς το περιβάλλον λειτουργία. Για την δημιουργία ενός αυτόνομου υβριδικού συστήματος πρέπει να υπάρχει ταυτόχρονη αξιοποίηση του διαθέσιμου δυναμικού ΑΠΕ και αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας. Η διαθέσιμη περίσσεια ΑΠΕ που διαφορετικά θα απορριπτόταν, για να μην προκαλέσει αστάθεια στο σύστημα, μπορεί να αποθηκευτεί και να επαναχρησιμοποιηθεί όταν η παραγωγή των μονάδων ΑΠΕ είναι μειωμένη. Οι κύριες τεχνολογίες αποθήκευσης είναι οι συσσωρευτές διαφόρων τύπων (πχ. μολύβδου-οξέως, λιθίου, μετάλλου-αέρα, νατρίου-θείου, ροής κλπ), οι πυκνωτές (κυρίως υπερπυκνωτές και υβριδικοί πυκνωτές), τα συστήματα αντλησιοταμίευσης, τα συστήματα αποθήκευσης με συμπιεσμένο αέρα, οι σφόνδυλοι, τα υπό-συστήματα υδρογόνου καθώς και τεχνολογίες υπεραγώγιμης μαγνητικής ενεργειακής

αποθήκευσης. Αυτές οι τεχνολογίες απαντώνται τόσο μόνες τους, όσο και σε συνδυασμούς (Baker and Collinson 1999; Barton and Infield 2004; Chen, Cong et al. 2009; Beaudin, Zareipour et al. 2010; Ibrahim, Beguenane et al. 2012). Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας παρουσιάζεται μια ανασκόπηση των σύγχρονων καινοτόμων τεχνολογιών αποθήκευσης της ηλεκτρικής ενέργειας και γίνεται η μεταξύ τους σύγκριση τόσο η τεχνική όσο και οικονομική. Στη περίπτωση όπου υπάρχει συνδυασμός των ανωτέρων μονάδων αποθήκευσης ενέργειας τότε απαιτείται η ύπαρξη εξελιγμένων αλγορίθμων ελέγχου. Στην εργασία παρουσιάζεται ακόμα ένα σύστημα αυτόματου ευφυούς ελέγχου για τη διαχείριση υβριδικού συστήματος υπερπυκνωτή – συσσωρευτή μολύβδου οξέως.

2. ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

2.1 Η ΑΝΑΓΚΗ ΤΗΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Το μικροδίκτυο που χρησιμοποιεί ανανεώσιμες πηγές ενέργειας κάνει επιτακτική την ανάγκη αποθήκευση της παραγόμενης ενέργειας και τη χρήση αυτών για κάλυψη της ζήτησης όταν είναι αναγκαίο. Επίσης η ενεργειακή αποθήκευση είναι απαραίτητη και για την αξιοπιστία ενός αυτόνομου μικροδικτύου αλλά και σε διασυνδεδεμένα συστήματα αποτελεί ένα βελτιωτικό παράγοντα για την ποιότητα της ισχύος του παραγόμενου ρεύματος.

2.2 ΜΟΝΑΔΕΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Για την αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας απαιτείται η μετατροπή της σε άλλη μορφή ενέργειας ώστε να είναι ευκολότερη η αποθήκευσή της. Η μετατροπή της ηλεκτρικής ενέργειας προς αποθήκευση μπορεί να γίνει στις ακόλουθες μορφές:

- Χημική (συσσωρευτές)
- Μηχανική ή κινητική ενέργεια (σφόνδυλοι)
- Ηλεκτροστατικού πεδίου (πυκνωτές)
- Πεπιεσμένου αέρα
- Υδραυλική (αντλιοταμιευτές)
- Υδρογόνου (κυψέλες καυσίμου)

Τα μέσα αποθήκευσης χωρίζονται σε δύο κατηγορίες ανάλογα με τον τρόπο που θέλουμε να εκμεταλλευτούμε την αποθηκευμένη ενέργεια. Οι δύο κατηγορίες είναι:

- Βραχυπρόθεσμα μέσα αποθήκευσης
- Μακροπρόθεσμα μέσα αποθήκευσης

Η πρώτη κατηγορία χρησιμοποιείται σε εγκαταστάσεις που απαιτείται υψηλή ενεργειακή ισχύ για μικρό χρονικό διάστημα (δευτερόλεπτα ή λίγα λεπτά) ή για να σταθεροποιηθεί η αυξομείωση της τάσης. Σε αυτή τη κατηγορία ανήκουν οι υπερπυκνωτές (ultra capacitors), οι σφόνδυλοι και τα υπεραγώγιμα μαγνητικά συστήματα ενεργειακής αποθήκευσης (Superconducting Magnetic Energy Storage, SMES). Η δεύτερη κατηγορία χρησιμοποιείται σε εγκαταστάσεις όπου απαιτείται υψηλή χωρητικότητα ενέργειας για μεγάλα χρονικά διαστήματα (ώρες ή ημέρες). Σε αυτή τη κατηγορία ανήκουν οι συσσωρευτές, οι αντλιοταμιευτές, τα συστήματα πεπιεσμένου αέρα και τα συστήματα αποθήκευσης υδρογόνου (fuel cells) (Semadeni 2004; Hadjipaschalis, Poullikkas et al. 2009). Η κατάλληλη επιλογή του κάθε μέσου αποθήκευσης, ανάλογα με τις ανάγκες της εγκατάστασης, βασίζεται σε βασικά τεχνικά χαρακτηριστικά.

Τα βασικά τεχνικά χαρακτηριστικά είναι :

- Πυκνότητα Ενέργειας (energy density) (Wh/kg)
- Ειδική Ισχύς (W/kg)
- Αποθηκευτική Ικανότητα (storage capacity) (Ah)
- Ενεργειακή Απόδοση
- Ρυθμός Εκφόρτισης (discharge rate) $(Q/\Delta t)$
- Αυτοεκφόρτιση (self – discharge) (% per day or % per hour)
- Διάρκεια ζωής (lifetime)
- Κόστος $(€/kWh)$
- Περιβαλλοντικές επιπτώσεις

2.2.1 Συσσωρευτές

Ένας συσσωρευτής κατασκευάζεται από δύο ή περισσότερα ηλεκτρικά στοιχεία που συνδέονται σε σειρά μεταξύ τους. Τα στοιχεία μετατρέπουν τη χημική ενέργεια σε dc ηλεκτρική ενέργεια. Τα ομαδοποιημένα στοιχεία τοποθετούνται σε μια κατάλληλη θήκη για να δημιουργήσουν ένα συσσωρευτή. Ο συσσωρευτής είναι ο παράλληλος ή σε σειρά συνδυασμός των μονάδων αυτών έτσι ώστε να παρέχει την κατάλληλη τάση, ένταση και ενέργεια στο ηλεκτρονικό σύστημα ισχύος. Η ενέργεια που αποθηκεύεται σε ένα συσσωρευτή είναι η διαφορά ενέργειας ανάμεσα στην κατάσταση φόρτισης και την κατάσταση εκφόρτισης. Αυτή η διαθέσιμη χημική ενέργεια σε ένα κελί μετατρέπεται, όταν απαιτείται, σε ηλεκτρική ενέργεια με χρήση των βασικών συστατικών του στοιχείου που είναι τα ηλεκτρόδια (θετικό και αρνητικό), οι διαχωριστές και οι ηλεκτρολύτες. Τα ηλεκτροχημικά ενεργά συστατικά του θετικού ή του αρνητικού ηλεκτροδίου ονομάζονται ενεργό υλικό. Οι χημικές αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα στα δύο ηλεκτρόδια έχουν ως αποτέλεσμα τη δέσμευση και απελευθέρωση ηλεκτρονίων. Τα ηλεκτρόδια πρέπει να είναι ηλεκτρικά αγώγιμα και τοποθετούνται σε διαφορετικές περιοχές διαχωριζόμενα από ένα διαχωριστή. Κατά τη διάρκεια λειτουργίας του συσσωρευτή, οι χημικές αντιδράσεις προκαλούν τη ροή ηλεκτρονίων από το ένα ηλεκτρόδιο στο άλλο. Όταν κάποιο ηλεκτρικό κύκλωμα συνδέει τα δύο ηλεκτρόδια τότε “κλείνει κύκλωμα” και είναι δυνατή η κίνηση των ηλεκτρονίων. Τα σημεία σύνδεσης ανάμεσα στα ηλεκτρόδια και το εξωτερικό κύκλωμα ονομάζονται πόλοι του συσσωρευτή. Πρέπει να σημειωθεί ότι μόνο σε ένα ιδανικό συσσωρευτή ισχύει ότι η κίνηση των ηλεκτρονίων παρατηρείται μόνο με την παρουσία εξωτερικού κυκλώματος. Δυστυχώς, πολλοί συσσωρευτές επιτρέπουν μια μικρή εκφόρτιση εξαιτίας φαινομένων διάχυσης. Γι’

αυτό και δε θεωρούνται ιδιαίτερα καλές για μακροχρόνια αποθήκευση ενέργειας. Αυτή η μικρή εκφόρτιση με πόλους ανοιχτού κυκλώματος είναι γνωστή ως αυτό-εκφόρτιση και χρησιμοποιείται, επίσης, ως παράμετρος ποιότητας του συσσωρευτή. Σήμερα χρησιμοποιούνται πολλά είδη συσσωρευτών ενώ η τεχνολογία τους εξελίσσεται συνεχώς.
Οι πιο σημαντικοί τύποι συσσωρευτών είναι :

- Μολύβδου οξέος (lead acid)
- Νικελίου σιδήρου (nickel iron)
- Νικελίου καδμίου (nickel cadmium)
- Νικελίου μετάλλου υβριδίου (nickel metal hybrid)
- Λιθίου πολυμερούς (lithium polymer)
- Ιόντων λιθίου (lithium ion)
- Θειούχου νατρίου (sodium sulphur)

Ο χαρακτηρισμός της ποιότητας ενός συσσωρευτή και η συγκριτική μελέτη των διαφόρων τύπων μεταξύ τους επιτυγχάνεται με τη θέσπιση συγκεκριμένων παραμέτρων οι σημαντικότερες από τις οποίες είναι:

- Τάσεις στοιχείων συσσωρευτή
- Χωρητικότητα συσσωρευτή
- Ρυθμός εκφόρτισης (Discharge Rate)
- Κατάσταση φόρτισης (State of Charge)
- Κατάσταση εκφόρτισης (State of Discharge)
- Βάθος φόρτισης (Depth of Discharge)
- Ειδική Ενέργεια (Specific Energy)
- Ειδική Ισχύς (Specific Power)
- Ενεργειακή Απόδοση

2.2.2 Υπερπυκνωτής

Οι υπερπυκνωτές ή εξελιγμένοι ηλεκτροχημικοί πυκνωτές βασίζουν την λειτουργία τους στον απλό πυκνωτή (EC capacitor) με τη διαφορά ότι προσφέρουν πολύ υψηλές χωρητικότητες σε μικρότερο μέγεθος. Σε ένα απλό πυκνωτή η χωρητικότητα εξαντλείται σε κάποια milli-farad ενώ στους υπερπυκνωτές σε κάποια kilo-farad. Ο υπερπυκνωτής (ultra-capacitor, super-capacitor) χαρακτηρίζεται από πολύ υψηλότερη ειδική ισχύ και πολύ χαμηλότερη ειδική ενέργεια σε σχέση με τους χημικούς συσσωρευτές. Συγκεκριμένα, η ειδική του ενέργεια είναι της τάξη μερικών Wh/kg ενώ η ειδική του ισχύς μπορεί να φτάσει ακόμη και τα $3kW/kg$. Εξαιτίας της πολύ χαμηλής τους ειδικής ενέργειας και της εξάρτησης της τάσης εξόδου από την κατάσταση φόρτισης (SOC) είναι πολύ δύσκολο να χρησιμοποιηθούν οι υπερπυκνωτές ως η μόνη πηγή ενέργειας. Ωστόσο, προκύπτουν σημαντικά πλεονεκτήματα από τη χρήση των υπερπυκνωτών ως βοηθητική πηγή ενέργειας. Ο συνδυασμός συσσωρευτή και υπερπυκνωτή επιτρέπει την αποσύνδεση της απαίτησης για υψηλή ειδική ισχύ από την απαίτηση για υψηλή ειδική ενέργεια και μεγάλο κύκλο ζωής. Έτσι, επικεντρώνεται η σχεδίαση του συσσωρευτή μόνο στην υψηλή ειδική ενέργεια και το μεγάλο κύκλο ζωής. Επίσης, τα υψηλά ρεύματα φόρτισης και εκφόρτισης μπορούν να συσχετισθούν με τον υπερπυκνωτή αυξάνοντας έτσι τη διαθέσιμη ενέργεια και τον κύκλο ζωής του συσσωρευτή. Πρέπει, επίσης, να τονιστεί το γεγονός ότι οι υπερπυκνωτές δεν έχουν το πρόβλημα της υπερφόρτισης καθώς φορτίζονται μόνο μέχρι η τάση στα άκρα τους να φτάσει την τάση της πηγής που τους φορτίζει. Μία σημαντική παράμετρος των υπερπυκνωτών είναι ο πολύ υψηλός βαθμός απόδοσής τους. Πρέπει να σημειωθεί ότι στην πράξη δεν μπορεί να αξιοποιηθεί στο σύνολό της η ενέργεια στον υπερπυκνωτή εξαιτίας της πολύ χαμηλής ισχύος σε χαμηλές τιμές της κατάστασης φόρτισης (μικρή τάση). Ανάλογα με τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή τους οι υπερπυκνωτές, διακρίνονται σε τρείς κατηγορίες:

1. Ηλεκτροχημικοί πυκνωτές διπλού στρώματος (electrochemical double layer capacitors, ECDL)
2. Ψευδοπυκνωτές (pseudo capacitors)
3. Υβριδικοί πυκνωτές (hybrid capacitors)

2.2.3 Συστήματα Αντλησιοταμίευσης

Τα συστήματα αντλησιοταμίευσης (ΑΥΣ) είναι συστήματα κλειστού βρόγχου. Η λειτουργία των συστημάτων αυτών στηρίζεται στη βαρυτική δύναμη του νερού. Αποτελούνται από δύο δεξαμενές (ταμιευτήρες) με υψομετρική διαφορά μεταξύ τους και όταν υπάρχει περίσσεια ενέργειας στο δίκτυο τότε μέσω αντλίας ή συστοιχία αντλιών μεταφέρεται νερό από τη κάτω δεξαμενή στην άνω. Όταν υπάρχει έλλειψη ισχύος τότε μεταφέρεται μέσω της βαρυτικής δύναμης νερό από την άνω δεξαμενή στον υδροστρόβιλο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η δυναμική ενέργεια του νερού να μετατρέπεται σε κινητική και μετά σε ηλεκτρική. Τα συστήματα αντλησιοταμίευσης χρησιμοποιούνται κυρίως όταν υπάρχει χαμηλή ζήτηση ισχύος. Οπότε και μπαίνουν σε λειτουργία με αποτέλεσμα να κρατάνε σταθερή τη συχνότητα του δικτύου, αλλά έχουν παρουσιαστεί και εφαρμογές τους σε αυτόνομα συστήματα.

2.2.4 Σφόνδυλοι

Οι σφόνδυλοι είναι μηχανικά μέσα αποθήκευσης οι οποίοι αποθηκεύουν την ενέργεια υπό τη μορφή κινητικής ενέργειας (περιστροφική κίνηση). Ο σφόνδυλος είναι μια κυλινδρική μάζα που περιστρέφεται γύρω από έναν άξονα, η ενέργεια που απαιτείται για να περιστραφεί αυτή η μάζα, αποθηκεύεται υπό τη μορφή κινητικής ενέργειας ενώ επιστρέφει πίσω στο σύστημα με την επιβράδυνση του κυλίνδρου. Ο σφόνδυλος λειτουργεί σαν ένα μηχανικό συσσωρευτή που μπορεί να αποθηκεύσει μια συγκεκριμένη ποσότητα ενέργειας ανάλογα με την ταχύτητα περιστροφής της μάζας. Οι σφόνδυλοι αποκτούν τη μέγιστη ταχύτητα μέσα σε λίγα λεπτά κάτι που τους κάνει ανταγωνιστικούς έναντι των συσσωρευτών που χρειάζονται ώρες για να επαναφορτιστούν. Οι σφόνδυλοι μπορούν να εκφορτιστούν γρήγορα και να προσφέρουν μεγάλη ισχύ κάτι που τους καθιστά ιδανικούς σε περιπτώσεις άμεσης ζήτησης μεγάλων ποσοτήτων ενέργειας. Η ενεργειακή απόδοση στους σύγχρονούς σφονδύλους φτάνει το 90% ενώ η καλύπτουν

πάρα πολλούς κύκλους φόρτισης/εκφόρτισης, η διάρκεια ζωής τους φτάνει τα 20 χρόνια και εξαρτάται κυρίως από την αντοχή των υλικών. Μειονεκτήματα των σφονδύλων είναι το υψηλό κόστος και οι υψηλές απώλειες κατά την κατάσταση αναμονής. Το ποσοστό αυτό-εκφόρτισης των σφονδύλων είναι υψηλό και ανέρχεται περίπου 20% ανά ώρα αναμονής. Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις των σφονδύλων είναι αμελητέες από την στιγμή που για την λειτουργία δεν απαιτείτε εκτεταμένη χρήση χημικών υλικών. Τέλος, πρέπει να δίνεται προσοχή στον χειρισμό των σφονδύλων από την στιγμή που μεγάλες μάζες περιστρέφονται σε μεγάλες ταχύτητες, υπάρχει κίνδυνος υλικών ή σωματικών βλαβών.

2.2.5 Συστήματα αποθήκευσης με συμπιεσμένο αέρα

Στα συστήματα συμπιεσμένου αέρα (CAES - Compressed Air) είναι μια μέθοδος μακροχρόνιας αποθήκευσης της ενέργειας που εφαρμόζονται σε μεγάλες βιομηχανικές μονάδες παραγωγής και μας δίνουν την δυνατότητα να αποθηκεύσουμε μεγάλες ποσότητες ενέργειας για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Έχουν υπάρξει και υλοποιήσεις μικρότερης κλίμακας που μπορούν να αξιοποιηθούν σε αυτόνομα μικροδίκτυα.

2.2.6 Υπεραγώγιμη μαγνητική ενεργειακή αποθήκευση

Τα συστήματα υπεραγώγιμης μαγνητικής αποθήκευσης (Superconducting Magnetic Energy Storage, SMES) αποθηκεύουν ηλεκτρική ενέργεια στο μαγνητικό πεδίο ενός πηνίου. Αποτελούνται από ένα υπεραγώγιμο πηνίο, ένα σύστημα κλιματισμού ισχύος, ένα σύστημα ψύξης του δοχείου και ένα κρυοστάτη κενού. Το πηνίο ψύχεται με υγρό ήλιο στους $-260^{o}C$, στη θερμοκρασία αυτή η αντίσταση του υλικού εξαφανίζεται και επιτρέπει υψηλές αποδόσεις άνω του 97% και τη δυνατότητα αποθήκευσης επ' αόριστον. Οι χρόνοι απαλλαγής είναι εξαιρετικά μικροί (~1 s) και καθιστά το σύστημα χρήσιμο όπου απαιτείται εξαιρετικά μεγάλη ισχύ εξόδου υψηλής ποιότητας. Επίσης μπορούν να φορτιστούν και να αποφορτιστούν στιγμιαία χωρίς να μειώνεται η διάρκεια ζωής τους. Στα βασικά μειονεκτήματα της τεχνολογίας αυτής είναι η χαμηλή ενεργειακή πυκνότητα και το υψηλό κόστος που οφείλεται κυρίως στις χαμηλές.

2.2.7 Υποσυστήματα Υδρογόνου

Το υδρογόνο είναι ένα άφθονο χημικό στοιχείο του σύμπαντος και αποθηκεύεται σε ειδικές συσκευές (ειδικές δεξαμενές ή μεταλλικά υβρίδια ή σε νανοσωλήνες άνθρακα) είτε ως συμπιεσμένο αέριο είτε σε υγροποιημένη μορφή και χρησιμοποιείται ως καύσιμο για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας. Ο κύριος λόγος που αποθηκεύεται σε αυτές τις δύο μορφές είναι γιατί το υδρογόνο έχει χαμηλή ογκομετρική ενεργειακή πυκνότητα. Η παραγωγή του υδρογόνου γίνεται με διάφορες μεθόδους αλλά η συνηθέστερη είναι η ηλεκτρολυτική μέθοδος. Οι συσκευές ηλεκτρόλυσης χρησιμοποιούν ηλεκτρικό ρεύμα για να διαχωρίσουν το νερό σε υδρογόνο και σε οξυγόνο. Εν συνεχεία, η κυψέλη καυσίμου μετατρέπει τη χημική ενέργεια (υδρογόνο) σε ηλεκτρική ισχύς.

3. Έλεγχος ενός μικροδικτύου

Τα αυτόνομα δίκτυα περιλαμβάνουν διατάξεις αποθήκευσης ενέργειας και συστήματα ελέγχου και διαχείρισης φορτίου. Ο ελεγκτής διασφαλίζει τη συνεχή τροφοδότηση φορτίου στη κατανάλωση και την ενεργειακή διαχείριση. Ο καθορισμός της διαχείρισης ενέργειας σε κάθε μικροδίκτυο είναι διαφορετικός.

Η διαχείριση της ενέργειας περιλαμβάνει τους ακόλουθους τομείς :

1. Παραγωγή και αποθήκευση
2. Διανομή
3. Κατανάλωση

4. Υβριδική αποθήκευση

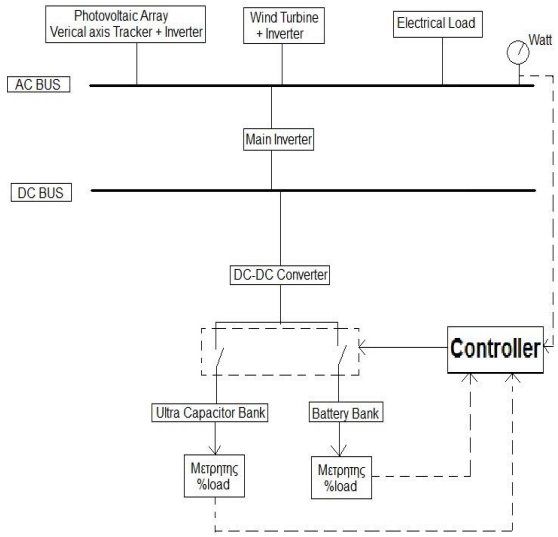
Στο προηγούμενο κεφάλαιο αναφέρθηκαν διάφορες μονάδες αποθήκευσης ενέργειας. Για τη δημιουργία ενός μικροδικτύου είναι αναγκαίο η ύπαρξη μίας τουλάχιστον μονάδας αποθήκευσης ενέργειας. Όταν αξιοποιούνται περισσότερες μονάδες αποθήκευσης ενέργειας απαιτούνται εξελιγμένοι αλγόριθμοι ελέγχου. Η σημασία των μεθόδων ελέγχου είναι υψηλή καθώς βρίσκεται σε άμεση συσχέτιση με την αξιόπιστη και οικονομική ηλεκτροδότηση και την σωστή αξιοποίηση του διαθέσιμου εξοπλισμού.

Ένα παράδειγμα μιας υβριδικής αποθήκης ενέργειας είναι ο συνδυασμός μιας συστοιχίας υβριδικών υπερπυκνωτών μαζί με συμβατικούς συσσωρευτές βαθιάς εκφόρτισης. Καρδιά μιας τέτοιας προσέγγισης είναι ο ελεγκτής που χρησιμοποιείται για τη διαχείριση του συστήματος αποθήκευσης ενέργειας και τη διασφάλιση συνεχούς τροφοδότησης φορτίου στη κατανάλωση. Ο ελεγκτή διασφαλίζει την ενεργειακή διαχείριση και τη μη εμφάνιση βαθιάς αποφόρτισης στους συσσωρευτές, που θα είχε ως αποτέλεσμα την καταστροφή τους. Ένας τέτοιος ελεγκτής παρουσιάζεται στην Εικόνα 1.

Για το σχεδιασμό τέτοιων ελεγκτών αξιοποιούνται συχνά προσεγγίσεις υπολογιστικής νοημοσύνης όπως η ασαφής λογική, τα δίκτυα Petri, οι ασαφείς γνωσιακοί χάρτες κλπ.

Πίνακας 1. Σύγκριση μεθόδων αποθήκευσης

	Ενεργειακή Πυκνότητα (Wh/kg)	Ενεργειακή Απόδοση	Διάρκεια Ζωής	Κόστος (€) ανά kWh	Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις
Συσσ/τες Μολύβδου – Οξέος	25-45	60-95	1500 κύκλους	50-150	Χρήζει Προσοχής
Συσσ/τες Αλκαλίων – Νικελίου	20-120	60-91	2000 κύκλους	200-750	Χρήζει προσοχής
Συσσ/τες Λιθίου	80-150	90-100	600 κύκλους	150-250	Ελάχιστες
Συσσ/τες Ροής	37	75	>14000 κύκλους	1.8εκ. €/ 2 MWh, 1280 €/kW	Ελάχιστες
Συσσ/Μετάλλου – Αερίου	110-420	~ 50	-	160	Ελάχιστες
Συσσ/τες Νατρίου – Θείου	150-240	>86	2500-5400 κύκλους	170	Χρήζει Προσοχής
Υπερπυκνωτές	0,1 – 5	85-98	~15 χρόνια	200 – 1000	Ελάχιστες
Συστήματα Ανλιοταμίευσης	-	75-85	-	140εκ. – 680εκ.€ για 1000MW	Μεγάλες
Συμπιεσμένος Αέρας	-	80	-	400	Χρήζει Προσοχής
Σφόνδυλοι	100	90	~15χρόνια	3000-10000	Ελάχιστες
Υδρογόνο	-	25-58 (PAFC)	-	6000-30000	Χρήζει Προσοχής
Υπεραγώγιμη Μαγνητική Αποθήκευση	-	97-98	~15χρόνια	350	Χρήζει Προσοχής



Εικόνα 1 : Σχηματική Παράσταση λειτουργίας του ελεγκτή

5. Αποτελέσματα - Συζήτηση

Ο Πίνακας 1 συνοψίζει και παρουσιάζει τα τεχνικά και οικονομικά χαρακτηριστικά όλων των μέσων αποθήκευσης που αναλύθηκαν στο κεφάλαιο 2.

Όπως γίνεται φανερό πολλές αρκετά μέσα αποθήκευσης παρουσιάζουν συμπληρωματικότητα στα χαρακτηριστικά τους. Σε εκείνες τις περιπτώσεις αξίζει να διερευνηθούν υβριδικές προσεγγίσεις. Λόγω της περιπλοκότητας στη διαχείριση τέτοιων διατάξεων προτείνεται η χρήση τεχνικών υπολογιστικής νοημοσύνης που μπορούν να ανταπεξέλθουν αποδοτικά σε αυτό το ρόλο.

6. Βιβλιογραφία

Bajpai, P. and V. Dash (2012). "Hybrid renewable energy systems for power generation in stand-alone applications: A review." Renewable and Sustainable Energy Reviews **16**(5): 2926-2939.

Baker, J. N. and A. Collinson (1999). "Electrical energy storage at the turn of the Millennium." Power Engineering Journal **13**(3): 107-112.

Barton, J. P. and D. G. Infield (2004). "Energy storage and its use with intermittent renewable energy." IEEE Transactions on Energy Conversion **19**(2): 441-448.

Beaudin, M., H. Zareipour, et al. (2010). "Energy storage for mitigating the variability of renewable electricity sources: An updated review." Energy for Sustainable Development **14**(4): 302-314.

Chen, H., T. N. Cong, et al. (2009). "Progress in electrical energy storage system: A critical review." Progress in Natural Science **19**(3): 291-312.

Hadjipaschalis, I., A. Poullikkas, et al. (2009). "Overview of current and future energy storage technologies for electric power applications." Renewable and Sustainable Energy Reviews **13**(6–7): 1513-1522.

Ibrahim, H., R. Beguenane, et al. (2012). Technical and financial benefits of electrical energy storage.

Manwell, J. F. (2004). Hybrid Energy Systems. Encyclopedia of Energy. J. C. Editor-in-Chief: Cutler. New York, Elsevier**:** 215-229.

Semadeni, M. (2004). Storage of Energy, Overview. Encyclopedia of Energy. J. C. Editor-in-Chief: Cutler. New York, Elsevier**:** 719-738.

ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΚΑΤΑΤΜΗΣΗΣ ΕΙΚΟΝΩΝ ΔΕΝΤΡΩΝ ΣΥΚΙΑΣ ΣΤΟ ΣΤΑΔΙΟ ΤΗΣ ΚΑΡΠΟΦΟΡΙΑΣ

Ιωάννης Γράβαλος
Τμήμα Μηχανικής Βιοσυστημάτων, Σχολή Τεχν ολογίας Γεωπονίας,
Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Λάρισας, Λάρισα, Τ.Κ. 41110

Ένα αντικείμενο σε μία εικόνα μπορεί να περιγραφεί είτε με βάση την περιοχή που καταλαμβάνει είτε με βάση το περίγραμμά του. Η αναγνώριση, που βασίζεται στην περιοχή την οποία καταλαμβάνει το αντικείμενο, απαιτεί κατάτμηση της εικόνας σε ομοιογενείς περιοχές, δηλαδή περιοχές που έχουν ομοιογενή χαρακτηριστικά (όπως ένταση, υφή). Αντικείμενο της εργασίας αυτής αποτελεί η μελέτη διαφορετικών απλών τεχνικών κατάτμησης εικόνων δέντρων συκιάς στο στάδιο της καρποφορίας. Οι τεχνικές κατάτμησης που χρησιμοποιήθηκαν ήταν: i) με χρήση φίλτρου ενδιάμεσης τιμής και μορφολογικούς τελεστές, ii) με μετασχηματισμό Watershed, iii) με μετασχηματισμό απόστασης, iv) με ομαδοποίηση k-μέσων και v) με τη μέγιστη εντροπία. Οι τεχνικές αυτές υλοποιήθηκαν με τη βοήθεια της πλατφόρμας Matlab. Συνολικά, χρησιμοποιήθηκαν 120 εικόνες δέντρων συκιάς στο στάδιο της καρποφορίας, που ελήφθησαν με μία απλή ψηφιακή φωτογραφική μηχανή από διαφορετικές οπτικές γωνίες, αποστάσεις λήψης και με διαφορετική ένταση φωτεινότητας. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της εργασίας, οι τεχνικές κατάτμησης των εικόνων που χρησιμοποιήθηκαν, έδειξαν ότι είναι δυνατόν να δώσουν ικανοποιητικά αποτελέσματα, εάν η ποιότητα των εικόνων είναι καλή.

Λέξεις κλειδιά: αυτοματοποίηση, επεξεργασία εικόνας, κατάτμηση, δέντρο συκιάς

IMAGE SEGMENTATION OF FICUS CARICA TREES DURING THE HARVESTING SEASON

Ioannis Gravalos
Department of Biosystems Engineering, School of Agricultural Technology,
Technological Educational Institute of Larissa, GR-41110 Larissa, Greece
gravalos@teilar.gr

An object in an image can be described either by the area occupied or by its contour. The recognition, based on the area occupied by the object requires segmentation of the image into homogeneous regions, i.e. regions which have homogeneous characteristics (such as intensity, texture). Object of this work is the study of different simple segmentation techniques of ficus carica trees images at the harvesting season. The segmentation techniques used were: i) with the use of intermediate value filter and morphological operators, ii) with Watershed transformation, iii) with distance transformation, iv) with k-means clustering and v) with the max entropy. These techniques were implemented using Matlab. In total, 120 images of ficus carica trees were used at the stage of fruiting, obtained with a simple digital camera from different angles, distances and with different brightness intensity. According to the results, the segmentation techniques of images used, showed that it is possible to give satisfactory results if the image quality is good.

Key words: automation, image processing, segmentation, ficus carica tree

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Μία εικόνα στην αναλογική της μορφή ορίζεται ως μία συνάρτηση δύο διαστάσεων f(x,y), όπου x, y οι ορθογώνιες συντεταγμένες του επιπέδου, και η τιμή της f για κάθε ζευγάρι συντεταγμένων (x,y) καλείται φωτεινότητα της εικόνας στο σημείο αυτό (Sonka et al., 1995). Για την ψηφιοποίηση μίας αναλογικής εικόνας, με σκοπό την επεξεργασία της, απαιτείται η μετατροπή των συντεταγμένων και των τιμών φωτεινότητας σε διακριτές. Η ψηφιακή επεξεργασία εικόνας ασχολείται με την αλλαγή των χαρακτηριστικών μιας εικόνας και περιλαμβάνει διάφορες προσεγγίσεις, όπως το ψηφιακό φιλτράρισμα, την ανίχνευση των περιγραμμάτων, την κατάτμηση σε περιοχές, την περιγραφή των σχημάτων, την ανάλυση της υφής, κ.ά. (Πήτας, 1996).

Μία σημαντική διαδικασία της ψηφιακής επεξεργασίας και ανάλυσης σε μία εικόνα είναι η αναγνώριση των περιοχών. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται κατάτμηση εικόνας (image segmentation) σε ομοιογενείς περιοχές (δηλαδή η εικόνα χωρίζεται στα αντικείμενα από τα οποία αποτελείται και στο φόντο της). Η κατάτμηση εικόνας εκτός του ότι είναι μία σημαντική προσέγγιση της τεχνητής όρασης για μεγάλο πλήθος εφαρμογών, αποτελεί ταυτόχρονα μία δύσκολη περιοχή της επεξεργασίας εικόνας (επειδή δεν υπάρχει πρότερη γνώση για το περιεχόμενο της εικόνας) και είναι καθοριστικής σημασίας για την επιτυχία ή μη της τελικής ανάλυσης. Η ανομοιομορφία έντασης φωτεινότητας του φόντου και η συσσωμάτωση των αντικειμένων μίας εικόνας έχουν σαν αποτέλεσμα να εμφανίζονται προβλήματα στη διαδικασία κατάτμησης των εικόνων (Haralick and Shapiro, 1992; Lulio, et al., 2011).

Για την αυτόματη κατάτμηση των εικόνων έχει αναπτυχθεί μεγάλο πλήθος τεχνικών, οι οποίες συνοψίζονται στις ακόλουθες τρεις βασικές κατηγορίες: α) κατάτμηση με βάση τα εικονοστοιχεία, β) κατάτμηση με βάση τις περιοχές και γ) κατάτμηση με βάση τις ακμές. Η πιο απλή από τις τεχνικές

κατάτμησης εικόνας είναι αυτή της κατωφλίωσης (thresholding). Η κατωφλίωση βασίζεται στη σωστή επιλογή μίας τιμής κατωφλίου για την μετατροπή μίας εικόνας επιπέδων του γκρι σε ασπρόμαυρη. Μία άλλη προσέγγιση είναι αυτή της πολυκατωφλίωσης. Επίσης, υπάρχουν και άλλες εξίσου δημοφιλείς τεχνικές όπως είναι της μέγιστης εντροπίας και η τεχνική Otsu. Η κατάτμηση εικόνας με κατωφλίωση είναι επιτυχής στην περίπτωση που δεν υφίστανται μεγάλες διακυμάνσεις στην φωτεινότητα και τα αντικείμενα είναι λιγοστά και μεγάλα (Haralick and Shapiro, 1992).

Η κατάτμηση εικόνας με βάση τις περιοχές είναι η πιο διαδεδομένη κατηγορία τεχνικών κατάτμησης. Χρησιμοποιείται ευρέως σε όλες τις περιπτώσεις κατάτμησης, αλλά ειδικότερα στην κατάτμηση των έγχρωμων εικόνων (Costa and de Souza, 2011). Πρόκειται για τεχνικές ομαδοποίησης δεδομένων με κοινά χαρακτηριστικά. Μεταξύ αυτών περιλαμβάνονται: τεχνικές διαίρεσης, συνένωσης και αύξησης περιοχών. Στις τεχνικές αύξησης περιοχών, η επεξεργασία βασίζεται στον καθορισμό κάποιων αρχικών εικονοστοιχείων της εικόνας. Κάθε εικονοστοιχείο προσδιορίζει μία περιοχή, η οποία μπορεί να επεκταθεί προσθέτοντας γειτονικά σημεία με κριτήρια ομοιογένειας και γεωμετρικής αμεσότητας. Η επέκταση αυτή διακόπτεται όταν δεν μπορούν να προστεθούν άλλα εικονοστοιχεία. Μία άλλη σημαντική τεχνική κατάτμησης εικόνας είναι ο μετασχηματισμός Watershed (Biswas and Lovell, 2008). Ο μετασχηματισμός Watershed δημιουργεί αρκετά τοπικά ελάχιστα που οδηγούν στην υπερ-τμηματοποίηση της εικόνας. Είναι δυνατόν να βελτιωθούν τα αποτελέσματα του μετασχηματισμού αυτού, εάν προηγηθεί ένα φιλτράρισμα της εικόνας.

Οι τεχνικές κατάτμησης εικόνας με βάση τις ακμές βρίσκουν εφαρμογή σε περιπτώσεις εικόνων, που περιλαμβάνουν κυρίως γεωμετρικά αντικείμενα. Τα όρια των περιοχών και οι ακμές βρίσκονται σε στενή σχέση. Όμως, οι ακμές περιέχουν συνήθως ασυνέχειες και επομένως είναι δύσκολο να ανιχνευτεί ένα αντικείμενο μέσα σε μία εικόνα. Λόγω αυτής της βασικής αδυναμίας έχουν αναπτυχθεί τεχνικές κατάτμησης, που δίνουν κλειστά περιγράμματα. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιείται συνήθως σε δύο φάσεις: στην πρώτη φάση ανιχνεύονται τα άκρα του αντικειμένου και στην δεύτερη φάση συνδέονται με συνεχή περιγράμματα (Jain et al., 1995).

Τα τελευταία χρόνια, ένα από τα πεδία εφαρμογής της ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας με τη βοήθεια ηλεκτρονικού υπολογιστή, είναι αυτό, της αυτόματης διαδικασίας αναγνώρισης των καρπών στα οπωροφόρα δέντρα. Οι Plá et al. (1993) παρουσίασαν έναν αλγόριθμο κατάτμησης έγχρωμων εικόνων, για την αναγνώριση και τον εντοπισμό των καρπών στα εσπεριδοειδή. Ο αλγόριθμος βασίζονταν σε ένα διχρωματικό μοντέλο ανάκλασης του φωτός. Σύμφωνα με το διχρωματικό μοντέλο ανάκλασης, η συνιστώσα ανάκλασης επιφάνειας και η συνιστώσα ανάκλασης αντικειμένου, δημιουργούν δύο υποχώρους. Με τον τρόπο αυτό διαχωρίζονται επιτυχώς οι δύο συνιστώσες και επιτυγχάνεται η ανάκτηση των αντικειμένων. Οι Stajnko et al. (2004) ανέπτυξαν και δοκίμασαν με επιτυχία μια νέα μέθοδο εκτίμησης του αριθμού των μήλων και μέτρησης της διαμέτρου των καρπών αυτών στον αγρό. Η προτεινόμενη μέθοδος βασιζόταν στην ανάλυση των λήψεων μίας θερμικής κάμερας. Οι Qiang et al. (2010) παρουσίασαν μία μελέτη, η οποία αναφέρεται στην εξαγωγή χαρακτηριστικών των καρπών με σχεδόν σφαιρική μορφή. Για την εξαγωγή των χαρακτηριστικών των καρπών χρησιμοποίησαν τέσσερεις διαφορετικές τεχνικές: α) cluster barycentre (CB), β) edge barycentre (EB), γ) circular Hough transform (CHT) και δ) least square circle fitting (LSCF).

Αντικείμενο της εργασίας αυτής ήταν η μελέτη εφαρμογής διαφορετικών απλών τεχνικών κατάτμησης σε εικόνες δέντρων συκιάς, τα οποία βρίσκονταν στο στάδιο της καρποφορίας με στόχο την αναγνώριση των καρπών.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1. Δειγματοληψία εικόνων

Οι εικόνες ελήφθησαν από έναν σχετικά νέο συκεώνα, ο οποίος βρίσκεται στην περιοχή του Μαρκόπουλου Αττικής, με αποστάσεις φύτευσης 4 έως 5 m επί της γραμμής και 6 έως 7 m μεταξύ των γραμμών. Το κλάδεμα διαμόρφωσης των δένδρων είναι ανοιχτού κυπέλλου, ώστε να επιτυγχάνεται ο σωστός αερισμός του δένδρου αλλά παράλληλα να διευκολύνεται η συγκομιδή των καρπών. Η ωρίμανση των καρπών αρχίζει από τα τέλη Ιουλίου και ολοκληρώνεται τα μέσα Οκτωβρίου.

Με τη βοήθεια μίας ψηφιακής φωτογραφικής μηχανής Sony DSC-W310 με ανάλυση 12.1 MP, οπτικό zoom 4x, ελήφθησαν συνολικά 120 εικόνες, κάτω από διαφορετικές οπτικές γωνίες, αποστάσεις λήψης και με διαφορετική ένταση φωτεινότητας. Οι εικόνες στη συνέχεια μεταφέρθηκαν σε έναν Η/Υ, όπου αναλύθηκαν με τη βοήθεια της πλατφόρμας MATLAB v.R2012a.

2.2. Ανάλυση εικόνων

Για την ανάλυση των εικόνων χρησιμοποιήθηκαν συνολικά πέντε διαφορετικοί αλγόριθμοι. Ειδικότερα χρησιμοποιήθηκαν: i) αλγόριθμος κατάτμησης με μορφολογικούς τελεστές, ii) αλγόριθμος κατάτμησης με μετασχηματισμό Watershed, iii) αλγόριθμος κατάτμησης με μετασχηματισμό απόστασης, iv) αλγόριθμος κατάτμησης με ομαδοποίηση k-μέσων και v) αλγόριθμος κατάτμησης μέγιστης εντροπίας.

Σε αρκετές περιπτώσεις επεξεργασίας εικόνων επιπέδου του γκρι ή δυαδικών χρησιμοποιούνται μορφολογικοί τελεστές. Η μαθηματική μορφολογία είναι μία αποτελεσματική μη γραμμική μεθοδολογία επεξεργασίας εικόνων που στοχεύει στην ποσοτική περιγραφή της γεωμετρικής δομής των αντικειμένων της εικόνας. Η ανάλυση μίας εικόνας γίνεται με τη χρήση ενός απλού συνόλου (π.χ. ενός κύκλου, τετραγώνου) που ονομάζεται δομικό στοιχείο (structuring element). Οι κυριότεροι μορφολογικοί τελεστές είναι: της συστολής (erosion), της διαστολής (dilation), του ανοίγματος (opening), και του κλεισίματος (closing). Έστω ότι το αντικείμενο Χ μίας

δυαδικής εικόνας είναι υποσύνολο του E, και B ένα δομικό στοιχείο (σύνολο), ενώ το συμμετρικό του συνόλου ως προς την αρχή (0,0) είναι το B' (Soille, 2004):

$$B'=\{-b: b \in B\} \quad (1)$$

Το B' λαμβάνεται με περιστροφή του B κατά 180°. Οι μορφολογικοί μετασχηματισμοί της διαστολής και της συστολής δίνονται από τις ακόλουθες σχέσεις:

$$X \oplus B'=\bigcup_{b \in B} X_{-b} = \{m \in E: B_m \cap X = 0\} \quad (2)$$

$$X \ominus B'=\bigcap_{b \in B} X_{-b} = \{m \in E: B_m \subset X\} \quad (3)$$

Οι μορφολογικοί τελεστές επενεργούν σε μία εικόνα, την επεξεργάζονται, και την αποδίδουν μετά την επεξεργασία της στις ίδιες διαστάσεις με την αρχική. Η μέθοδος της μαθηματικής μορφολογίας μπορεί να συνδοιαστεί και με άλλες μη γραμμικές προσεγγίσεις φιλτραρίσματος. Στην προκειμένη περίπτωση χρησιμοποιήθηκε ένα φίλτρο ενδιάμεσης τιμής (median filter). Πρόκειται για μία τεχνική εξομάλυνσης και μείωσης του θορύβου, σύμφωνα με την οποία οι τιμές των εικονοστοιχείων μίας γειτονιάς ταξινομούνται και η τιμή του κάθε εικονοστοιχείου της νέας εικόνας λαμβάνει μία ενδιάμεση (διάμεση) τιμή (Arias-Castro and Donoho, 2009).

Ο μετασχηματισμός Watershed αντιμετωπίζει μία εικόνα σαν μία επιφάνεια αποτελούμενη από βουνά και κοιλάδες. Επομένως, εάν σε μία εικόνα που υπάρχουν τοπικά ελάχιστα εφαρμοστεί ο μετασχηματισμός Watershed, τότε το ″νερό″ θα πλημμυρίσει τα τοπικά ελάχιστα της εικόνας και θα φτάσει στα υψηλότερα τμήματα αυτής, δηλαδή στις ακμές των αντικειμένων. Για να μην επιτρέψουμε στο ″νερό″ που έρχεται από δύο διαφορετικά τοπικά ελάχιστα να συναντηθεί, δημιουργούμε φράγματα κάθε φορά που υπάρχει αυτός ο κίνδυνος. Τελικά, το μόνο που θα μπορούμε να δούμε στην εικόνα είναι τα φράγματα, τα οποία ονομάζονται γραμμές Watershed. Με την τεχνική αυτή, αρχικά υπολογίζεται μία μάσκα ακμών, επιλέγονται τα σημεία εκκίνησης (markers), και ακολουθεί η διαδικασία του ″πλημμυρίσματος″ (Gonzalez et al., 2004). Η τεχνική αυτή μπορεί να εφαρμοστεί σε μία εικόνα που έχει βελτιωμένες ακμές ή έχει ειδικά παραμορφωθεί. Δίνει διαφορετικά αποτελέσματα ανάλογα με την ποιότητα της εικόνας και τη σχέση συμπίεσης. Παρουσιάζει μειωμένη διακριτική ικανότητα στις μεταβολές της φωτεινότητας.

Ο μετασχηματισμός απόστασης ονομάζεται και χάρτης απόστασης. Ο μετασχηματισμός αυτός χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του χάρτη των αποστάσεων από το εξωτερικό περίγραμμα ενός αντικειμένου (Borgefors, 1986). Πρόκειται για τον υπολογισμό της απόστασης κάθε εικονοστοιχείου από το πλησιέστερο μη μηδενικό (μη μαύρο) εικονοστοιχείο. Επομένως, σε μία εικόνα μαύρου φόντου και λευκού περιγράμματος του αντικειμένου, ο πίνακας μετασχηματισμού απόστασης θα λαμβάνει την τιμή 1 πλησίον των ακμών του περιγράμματος του αντικειμένου (Maurer et al., 2003). Με την τεχνική αυτή μετατρέπεται μία δυαδική (ασπρόμαυρη) εικόνα σε μία άλλη, όπου κάθε εικονοστοιχείο της έχει τιμή προσεγγιστική της απόστασής του από το κοντινότερο σημείο του περιγράμματος.

Στις διαχωριστικές τεχνικές (partitional techniques) κατάτμησης εικόνας ακολουθείται μία προσέγγιση με βάση το κέντρο βάρους μίας περιοχής (centroid) (Ng and Han, 2002). Στις τεχνικές αυτές αποδίδονται σημεία σε μία περιοχή, όταν ελαχιστοποιείται η απόστασή τους από το κέντρο βάρους της περιοχής αυτής. Η πιο διαδεδομένη μέθοδος είναι των k-μέσων (k-means), σύμφωνα με την οποία επιλέγονται N τυχαίες περιοχές και στη συνέχεια σε κάθε μία από αυτές αποδίδονται τα σημεία με βάση το κριτήριο αυτό (Gose et al., 1996):

$$E=\sum_{i=1}^{N} (\vec{x}_i - \vec{\mu}_k)^2 \quad (4)$$

όπου μ_k είναι το κέντρο βάρους της περιοχής, που βρίσκεται πιο κοντά στο άνυσμα των δεδομένων x_i.

Μία άλλη τεχνική για την κατάτμηση της εικόνας είναι η μέθοδος Kapour, η οποία βασίζεται στην έννοια της εντροπίας. Ειδικότερα, αναζητούμε την τιμή κατωφλίου για την οποία μεγιστοποιείται η εντροπία ($E=E_1+E_2$). Τα εικονοστοιχεία μίας εικόνας χωρίζονται σε κλάσεις. Οι κλάσεις αυτές περιγράφονται από τις ακόλουθες σχέσεις (Συμεωνίδης, 2008):

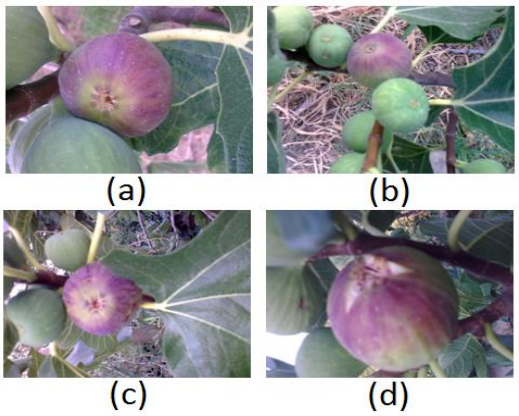
$$E_1 = \log(p_1) - \frac{1}{p_1} \sum_{g=0}^{T-1} H(g)\log(H(g)) \quad (5)$$

$$E_2 = \log(1-p_1) - \frac{1}{1-p_1} \sum_{g=T}^{255} H(g)\log(H(g)) \quad (6)$$

όπου E_1 είναι η μέση πληροφορία (εντροπία) της πρώτης κλάσης, E_2 είναι η μέση πληροφορία της δεύτερης κλάσης, p_1 είναι η πιθανότητα ένα εικονοστοιχείο να ανήκει E_1, H(g) είναι η τιμή του κανονικοποιημένου ιστογράμματος που αντιστοιχεί στην χρωματική συνιστώσα g, και T είναι η ζητούμενη τιμή κατωφλίου.

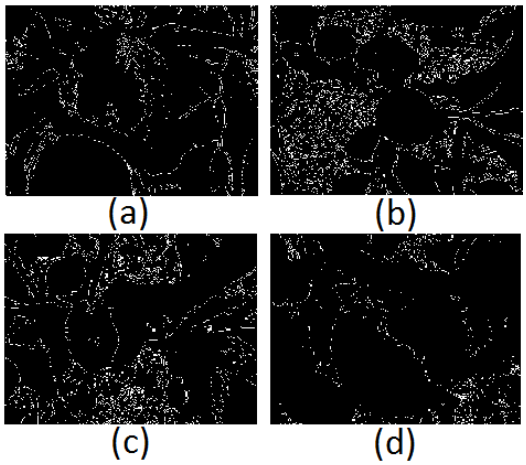
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Στην ενότητα αυτή, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της κατάτμησης των αρχικών εικόνων δένδρων συκιάς στο στάδιο της καρποφορίας (Εικόνα 1), με τη βοήθεια των πέντε ανωτέρω αλγορίθμων.



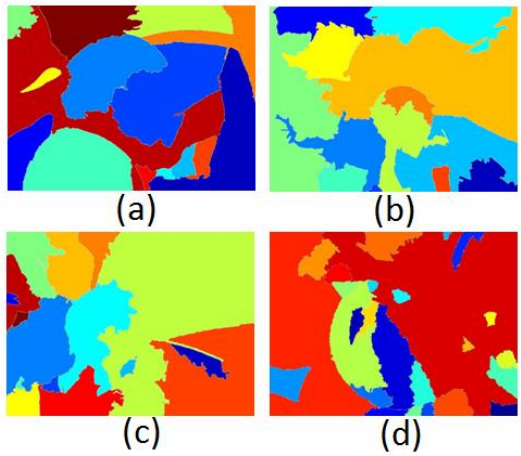
Εικόνα 1. Αρχικές εικόνες δέντρων συκιάς στο στάδιο της καρποφορίας

Στην Εικόνα 2 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα κατάτμησης των αρχικών εικόνων μετά την εφαρμογή φίλτρου ενδιάμεσης τιμής και στη συνέχεια των μορφολογικών τελεστών της διαστολής και συστολής. Όπως προκύπτει από τις εικόνες, η κατάτμηση είναι ικανοποιητική.



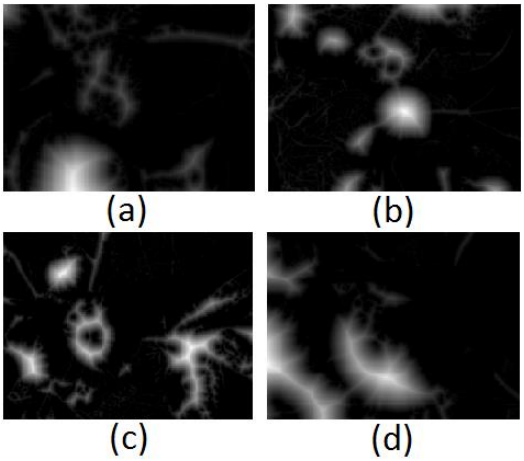
Εικόνα 2. Κατάτμηση εικόνων με χρήση φίλτρων ενδιάμεσης τιμής και μορφολογικούς τελεστές

Στην Εικόνα 3 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα κατάτμησης των αρχικών εικόνων με τη μέθοδο του μετασχηματισμού Watershed. Στις εικόνες αυτές παρατηρείται μία υπερκατάτμηση. Αυτό οφείλεται στο γεγονός, ότι η αρχική επεξεργασία των εικόνων, έδωσε αρκετά εικονοστοιχεία με τιμές που πλησιάζουν την μονάδα (λευκό), στις περιοχές που αυξάνεται η εναλλαγή στην φωτεινότητα.



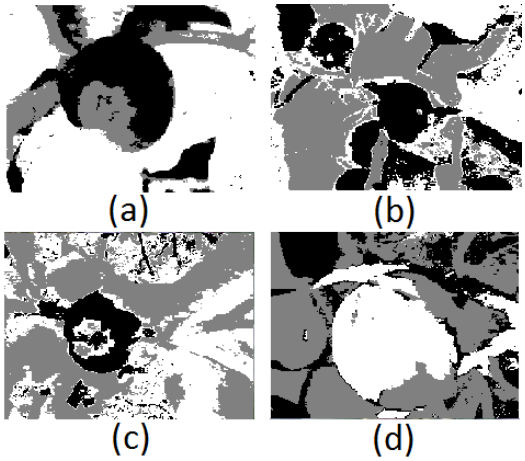
Εικόνα 3. Κατάτμηση εικόνων με τη μέθοδο του μετασχηματισμού Watershed

Στην Εικόνα 4 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα κατάτμησης των αρχικών εικόνων με τη μέθοδο του μετασχηματισμού απόστασης. Η μέθοδος αυτή, φαίνεται να δίνει καλύτερα αποτελέσματα σε σχέση με τις δύο προηγούμενες. Ο μετασχηματισμός απόστασης δίνει την τιμή ένα (1) στα εικονοστοιχεία των αντικειμένων (καρπών) των δυαδικών εικόνων, σύμφωνα με τον ορισμό του. Όμως, είναι δύσκολο να εξαχθούν ικανοποιητικά συμπεράσματα για το μέγεθος και το σχήμα των καρπών.



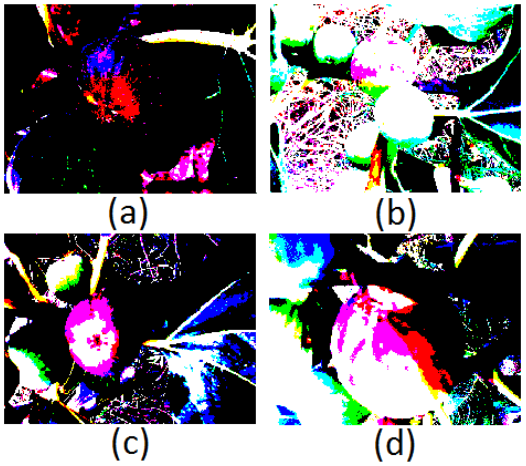
Εικόνα 4. Κατάτμηση εικόνων με μετασχηματισμό απόστασης

Στην Εικόνα 5 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα κατάτμησης των αρχικών εικόνων με τη μέθοδο της ομαδοποίησης k-μέσων. Ο βασικός στόχος να διαχωριστούν τα αντικείμενα (οι καρποί) από το φόντο, επετεύχθη στις Εικόνες 5 (a, b, c).



Εικόνα 5. Κατάτμηση εικόνων με ομαδοποίηση k-μέσων

Στην Εικόνα 6 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα κατάτμησης των αρχικών εικόνων με τη μέθοδο της μέγιστης εντροπίας. Οι κατωφλιωμένες εικόνες δίνουν παρόμοια αποτελέσματα με την προηγούμενη μέθοδο της ομαδοποίησης k-μέσων.



Εικόνα 6. Κατάτμηση εικόνων με βάση την εντροπία

4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Η κατάτμηση των εικόνων παίζει σημαντικό ρόλο σε πολλές εφαρμογές. Στην εργασία αυτή εξετάζονται πέντε απλοί αλγόριθμοι κατάτμησης, οι οποίοι έχουν χρησιμοποιηθεί με ορισμένες παραλλαγές στην επεξεργασία και ανάλυση σκηνών εξωτερικών χώρων, βιοϊατρικών εικόνων κ.ά. (Νάννος, 2011). Στην προκειμένη περίπτωση, οι πέντε αλγόριθμοι χρησιμοποιήθηκαν στην κατάτμηση εικόνων δέντρων συκιάς στο στάδιο της καρποφορίας. Οι εικόνες που χρησιμοποιήθηκαν περιελάμβαναν εκτός των καρπών και άλλα τμήματα του φόντου με σχεδόν συνεχή ένταση, όπως: φύλλα, νευρώσεις φύλλων, ξερά κλαδιά, τμήμα του ουρανού. Επίσης, οι καρποί ήταν σε διαφορετικό στάδιο ωριμότητας, με αποτέλεσμα να παρουσιάζουν σημαντικές χρωματικές αποκλίσεις. Επομένως, η επιτυχής έκβαση κατάτμησης της κάθε εικόνας ήταν συνδεδεμένη με τα αντικείμενα που περιλάμβανε και τις συνθήκες ομαλότητας των περιγραμμάτων τους.

Οι τεχνικές κατάτμησης των εικόνων με βάση τα εικονοστοιχεία τους, όπως για παράδειγμα είναι η μέθοδος της κατωφλίωσης, έδωσαν ικανοποιητικά αποτελέσματα μόνο στις περιπτώσεις που δεν υπήρχαν μεγάλες διακυμάνσεις στην φωτεινότητα, ενώ τα αντικείμενα ήταν λιγοστά και μεγάλα. Για την επιτυχή εφαρμογή του αλγορίθμου με μετασχηματισμό Watershed θα έπρεπε οι περιοχές των αντικειμένων να είναι πιο σκοτεινές. Για το λόγο αυτό, θα έπρεπε να προηγηθεί μία καλύτερη προεπεξεργασία των εικόνων. Οι τεχνικές κατάτμησης των εικόνων που βασίζονται στην ομαδοποίηση των δεδομένων με βάση τα κοινά χαρακτηριστικά τους, όπως η μέθοδος των k-μέσων, έδωσαν σε άλλες περιπτώσεις ικανοποιητικά αποτελέσματα και σε άλλες όχι. Η διαφοροποίηση αυτή οφείλεται κατά κύριο λόγο στα ποιοτικά χαρακτηριστικά των ίδιων των εικόνων. Συνεπώς, η ποιότητα των εικόνων, σε όλες τις ανωτέρω περιπτώσεις που εξετάστηκαν, παίζει σημαντικό ρόλο στο τελικό αποτέλεσμα της κατάτμησης.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η εφαρμογή των πέντε αλγορίθμων στην κατάτμηση εικόνων δέντρων συκιάς στο στάδιο της καρποφορίας, έδειξε ότι είναι δυνατόν να δώσουν ικανοποιητικά αποτελέσματα, εάν η ποιότητα των εικόνων είναι καλή. Στο μέλλον, οι αλγόριθμοι αυτοί θα μπορούσαν να εξελιχθούν περισσότερο, για να παρέχουν περισσότερες πληροφορίες σχετικά με το μέγεθος και το σχήμα των καρπών.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Arias-Castro, E., Donoho, D.L., 2009. Does median filtering truly preserve edges better than linear filtering? The Annals of Statistics, 37(3):1172-1206.

Biswas, S., Lovell, B.C., 2008. Bézier and Splines in image processing and machine vision. Springer, 213-233.

Borgefors, G., 1986. Distance transformations in digital images. Computer Vision, Graphics, and Image Processing, 34:344-371.

Costa, J.A.F., de Souza, J.G., 2011. Image segmentation through clustering based on natural computing techniques. Edited by Pei-Gee Peter Ho, INTECH Open Access Publisher, 57-82.

Gonzalez, R.C., Woods, R.E., 1993. Digital Image Processing. Addison-Wesley Publishing Company, 483-569.

Gose, E., Johnsonbaugh, R., Jost, S., 1996. Pattern Recognition and Image Analysis. Prentice Hall PTR, 329-417.

Jain, R., Kasturi, R., Shunck, B.G., 1995. Machine vision. McGraw-Hill Inc., 140-223.

Lulio, L.C., Tronco, M.L., Porto, A.J.V., 2011. JSEG algorithm and statistical ANN image segmentation techniques for natural scenes. Edited by Pei-Gee Peter Ho, INTECH Open Access Publisher, 243-364.

Maurer, Jr.C.R., Qi, R., Raghavan, V., 2003. A linear time algorithm for computing exact euclidean distance transforms of binary images in arbitrary dimensions. IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 25(2):285–270.

Νάννος, Ν., 2011. Ανάπτυξη εξελιγμένων αλγορίθμων για την ψηφιακή επεξεργασία και ανάλυση κυτταροπαθολογικών εικόνων με χρήση πλατφόρμας MATLAB. Διπλωματική Εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 11-130.

Ng,R.T., Han, J., 2002. CLARANS: A method for clustering objects for spatial data mining. IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, 14(5): 1003-1016.

Ojala, T., Pietikäinen, M., 1999. Unsupervised texture segmentation using feature distributions. Pattern Recognition, 32:477-486.

Haralick, R.M., Shapiro L.G., 1992. Computer and robot vision. Addison-Wesley Publishing Company, 13-56.

Πήτας, Ι., 1996. Ψηφιακή επεξεργασία εικόνας. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο, Θεσσαλονίκη, 103-183.

Plá, F., Juste, F., Ferri, F., Vicens, M., 1993. Colour segmentation based on a light reflection model to locate citrus fruits for robotic harvesting. Computers and Electronics in Agriculture, 9:53-75.

Qiang, L., Huazhu, L., Jianrong, C., Jiewen, Z., YongPing, L., Fang, Z., 2010. Feature extraction of near-spherical fruit with partial occlusion for robotic harvesting. Maejo Int. J. Sci. Technol., 4(03):435-445.

Soille, P., 2004. Morphological image analysis. Springer, 63-135.

Sonka, M., Hlavac, V., Boyle, R., 1995. Image processing, analysis and machine vision. Chapman and Hall, 1-39.

Stajnko, D., Lakota, M., Hočevar, M., 2004. Estimation of number and diameter of apple fruits in an orchard during the growing season by thermal imaging. Computers and Electronics in Agriculture, 42:31-42.

Συμεωνίδης, Α., 2008. Digital image processing with MATLAB (Διδακτικές Σημειώσεις). ΤΕΙ Σερρών, 13-14.

ΝΕΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΓΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ

Ιωάννης Τρυπαναγνωστόπουλος, Μανώλης Σουλιώτης
Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Φυσικής, Τ.Κ. 26500, Πάτρα

Προτείνονται βελτιωμένης απόδοσης θερμικές ηλιακές συσκευές, οι οποίες είναι κατάλληλες για εφαρμογή σε διατάξεις για αφαλάτωση νερού καθώς επίσης και για καθαρισμό και απολύμανση νερού. Βασική καινοτομία των νέων αυτών διατάξεων είναι ο συνδυασμός των θερμικών ηλιακών συλλεκτών με ενισχυτικούς ανακλαστήρες, με τους οποίους αυξάνεται η προσλαμβανόμενη ηλιακή ακτινοβολία από τους θερμικούς συλλέκτες και οδηγεί στην αύξηση της αποδιδόμενης θερμότητας. Αυτή η αύξηση αντικαθιστά σε κάποιο βαθμό θερμικές απώλειες των συλλεκτών και επιτρέπει την αποδοτική λειτουργία τους σε υψηλότερες θερμοκρασίες. Με την βελτίωση αυτή οι θερμικοί συλλέκτες μπορούν να συμβάλουν σε αποδοτική λειτουργία θερμικές μηχανές και επίτευξη μεγαλύτερης παρεχόμενης θερμικής ή ηλεκτρικής ισχύος. Δοκιμάστηκαν δύο τύποι θερμικών ηλιακών συλλεκτών, ο επίπεδος συλλέκτης και ο συλλέκτης σωλήνα κενού, με ανακλαστήρες μπροστά από τους συλλέκτες. Τα αποτελέσματα ήταν ικανοποιητικά και για τους δύο τύπους συλλεκτών και ιδιαίτερα ενθαρρυντικά για τους συλλέκτες σωλήνα κενού. Με τις συσκευές αυτές επιτυγχάνεται ικανοποιητική θέρμανση ρευστών, ιδιαίτερα την θερινή περίοδο, όπου οι απαιτήσεις σε πόσιμο νερό είναι περισσότερες και έτσι βελτιώνεται η απόδοση των θερμικών μηχανών και καθιστά την διεργασία της αφαλάτωσης περισσότερο αποδοτική και οικονομική.

Λέξεις κλειδιά: ηλιακή ενέργεια, θερμικοί ηλιακοί συλλέκτες, συλλέκτες σωλήνα κενού, ηλιακή αφαλάτωση

NEW SOLAR ENERGY SYSTEMS FOR EFFECTIVE DESALINATION

Yiannis Tripanagnostopoulos, Manolis Souliotis
University of Patras, Department of Physics, Patra 26500, Greece, e-mail: yiantrip@physics.upatras.gr

Improved performance solar thermal collectors are suggested, which are suitable for solar desalination, water treatment and water detoxification. The basic innovation of these collector systems is their effective combination with booster reflectors, which contribute to add solar radiation on collector surface and therefore to increase their thermal energy output. This increase of solar radiation absorption overcomes partially collector thermal losses and can result to effective operation at higher temperatures. In this way, the collector can adapt effectively heat requirements for the efficient operation of Rankine or other type engine for work or electricity, providing it with higher temperature working fluid. Test results were obtained from flat plate and also evacuated tube, solar thermal collectors, where booster reflectors were installed in front of them. The results were positive, especially for the evacuated tube system, showing that the suggested combination collector plus reflector is effective and practical. The combined system is more efficient during summer, due to higher sun altitude and this adapts well with the higher demand of potable water during this period. Thus, the suggested system can be considered cost effective for solar desalination.

Key words: solar energy, solar thermal collectors, evacuated tube collectors, solar desalination

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σήμερα πάνω από 1.5 δις άνθρωποι έχουν πρόβλημα στην πρόσβαση καθαρού και πόσιμου νερού και η κατάσταση θα χειροτερέψει στα επόμενα χρόνια λόγω της περαιτέρω αύξησης του ανθρώπινου πληθυσμού και της επιδείνωσης του φαινομένου του θερμοκηπίου. Οι μέθοδοι που έχουν αναπτυχθεί για καθαρισμό και αφαλάτωση νερού απαιτούν την κατανάλωση σημαντικών ποσοτήτων ενέργειας, η οποία αποτελεί ένα άλλο σημαντικό παγκόσμιο πρόβλημα. Τελευταία, υπάρχει μείωση των νέων κοιτασμάτων πετρελαίου και σε λίγα χρόνια πιθανόν να υπάρξει παρόμοια κατάσταση και για το φυσικό αέριο, καύσιμα που επηρεάζουν δυσμενώς την ατμόσφαιρα με την έκλυση CO_2.

Οι τεχνολογίες ηλιακής ενέργειας είναι σε θέση να προσφέρουν λύσεις στις ενεργειακές απαιτήσεις της αφαλάτωσης και τα τελευταία χρόνια έχει γίνει σημαντική πρόοδος στις τεχνολογίες αυτές και έχουν προταθεί νέες και αποτελεσματικές διατάξεις ηλιακής ενέργειας θερμικών συλλεκτών, φωτοβολταϊών και υβριδικών φβ/θ συσκευών. Ακόμη, έχουν αναπτυχθεί νέα υβριδικά συστήματα μικρών ανεμογεννητριών με φωτοβολταϊκά, για λειτουργία κυρίως συστημάτων αφαλάτωσης με τεχνολογίες αντίστροφης όσμωσης (Manolakos et al, 2001).

Μια διαφορετική μέθοδος για την επίτευξη αφαλάτωσης είναι η χρήση θερμικών συλλεκτών οι οποίοι να παρέχουν την απαραίτητη θερμότητα για λειτουργία π.χ. μηχανών Rankine, σε σύζευξη πάλι με διατάξεις αντίστροφης όσμωσης. Οι θερμικοί αυτοί συλλέκτες είναι οι βελτιωμένοι επίπεδοι συλλέκτες με επιλεκτικό απορροφητή και ένα ή δύο διαφανή καλύμματα καθώς και οι συλλέκτες σωλήνων κενού, οι οποίοι είναι αποδοτικοί σε θερμοκρασίες λειτουργίας 100 ^oC -150 ^oC.

Στο Εργαστήριο Ηλιακής Ενέργειας του Παν/μίου Πατρών (ΕΗΕ–ΠΠ) έχουν γίνει πειράματα σχετικά με τους συλλέκτες αυτούς, με σκοπό την βελτίωση της αποδοτικότητάς τους στις θερμοκρασίες αυτές ή και στην επίτευξη αποδοτικής λειτουργίας τους σε υψηλότερες θερμοκρασίες, που να βρίσκονται στην περιοχή των 150 ^oC - 250 ^oC (Tripanagnostopoulos et al 2000a).

Μέχρι τώρα, έχουν μελετηθεί θερμικοί ηλιακοί συλλέκτες με διαφορετικές τιμές του συντελεστή απορρόφησης της απορροφητικής τους επιφάνειας (Tripanagnostopoulos et al 2000b) σε συνδυασμό με ενισχυτικά κάτοπτρα. Επίσης, έχει γίνει πειραματική μελέτη διάταξης επίπεδων θερμικών ηλιακών συλλεκτών με ενισχυτικά κάτοπτρα για την εξαγωγή πειραματικών αποτελεσμάτων σε ετήσια χρονική περίοδο (Tripanagnostopoulos and Souliotis, 2000).

Για την υλοποίηση ερευνητικού προγράμματος με αντικείμενο την αφαλάτωση νερού με θερμικούς ηλιακούς συλλέκτες, μηχανή Rankine και μέθοδο αντίστροφης όσμωσης, υπήρξε ανάγκη για βελτίωση της αποδοτικότητας των θερμικών συλλεκτών σωλήνων κενού και γι' αυτό επιλέχτηκε η αξιοποίηση των ενισχυτικών ανακλαστήρων. Στο πρόγραμμα απαιτείται η θέρμανση εργαζόμενου ρευστού για τη λειτουργία μηχανής Rankine στους 130 °C - 140 °C, για την βελτίωση της απόδοσης της μηχανής. Στην παρούσα εργασία γίνεται αναφορά στις μεθόδους βελτίωσης της αποδοτικότητας των επίπεδων συλλεκτών και των συλλεκτών σωλήνων κενού, για να επιτύχουν καλύτερες αποδόσεις στην αφαλάτωση και δίνονται πειραματικά αποτελέσματα σχετικά με την αποδοτική τους λειτουργία.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1. Διατάξεις αξιοποίησης ηλιακής ενέργειας

Οι θερμικοί ηλιακοί συλλέκτες χαρακτηρίζονται από την οπτική απόδοση και τις θερμικές απώλειες. Κάθε θερμικός συλλέκτης παρουσιάζει μείωση της απόδοσής του με την αύξηση της θερμοκρασίας λειτουργίας του επειδή αυξάνει παράλληλα και η θερμότητα απωλειών από τον συλλέκτη προς το περιβάλλον.

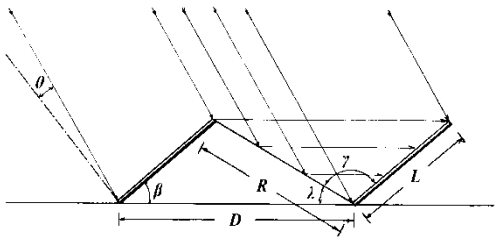
Οι θερμικοί ηλιακοί συλλέκτες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να παρέχουν θερμοκρασία ρευστού 130 °C - 140 °C, ώστε να ανταποκρίνονται στις θερμοκρασιακές απαιτήσεις αποδοτικής λειτουργίας της μηχανής Rankine, είναι είτε συλλέκτες σωλήνων κενού είτε συγκεντρωτικοί συλλέκτες γεωμετρίας CPC (Y. Tripanagnostopoulos and P. Yianoulis, 1996, Tripanagnostopoulos et al 2000a). Οι επίπεδοι θερμικοί ηλιακοί συλλέκτες απλής μαύρης βαφής αδυνατούν να λειτουργήσουν αποδοτικά σ' αυτό το θερμοκρασιακό εύρος, ενώ οι επίπεδοι συλλέκτες με επιλεκτικό απορροφητή (έχουν χαμηλό συντελεστή εκπομπής), αν και είναι πιο οικονομικοί σε σχέση με τους θερμικούς συλλέκτες σωλήνων κενού, εντούτοις έχουν σχετικά μικρότερη ενεργειακή απόδοση για τις θερμοκρασίες αυτές.

Εκτός από την εφαρμογή διαφόρων μεθόδων θερμικής βελτίωσης των ηλιακών συλλεκτών, κυρίως με καλύτερη θερμομόνωση, στο Εργαστήριο Ηλιακής Ενέργειας έχει αναπτυχθεί και η μέθοδος της προσθήκης επίπεδων κατόπτρων έμπροσθεν των συλλεκτών, τα οποία λειτουργώντας ως ενισχυτικοί ανακλαστήρες της ηλιακής ακτινοβολίας μπορούν να προσθέσουν ποσότητα ηλιακής ενέργειας στην επιφάνεια ανοίγματος των θερμικών ηλιακών συλλεκτών. Το αποτέλεσμα είναι η αύξηση της αποδιδόμενης θερμότητας για λειτουργία σε μια δεδομένη θερμοκρασία, ή η αποδοτική λειτουργία του συλλέκτη σε υψηλότερη θερμοκρασία.

2.2. Μέθοδος ενισχυτικών ανακλαστήρων

Η μέθοδος των ενισχυτικών κατόπτρων μπορεί να εφαρμοστεί στις εγκαταστάσεις παράλληλων σειρών θερμικών ηλιακών συλλεκτών σε έδαφος ή σε οριζόντια οροφή κτιρίων. Η τοποθέτηση των επιπέδων συλλεκτών σε παράλληλες σειρές γίνεται με τρόπο που να αξιοποιείται στο μέγιστο η διαθέσιμη επιφάνεια και με τους συλλέκτες να έχουν την κατάλληλη κλίση για το χρονικό διάστημα που απαιτείται κυρίως η αυξημένη αποδιδόμενη θερμότητα και σε σχέση με το γεωγραφικό πλάτος της τοποθεσίας εγκατάστασης. Τα κάτοπτρα που θα τοποθετηθούν μεταξύ των σειρών συλλεκτών συμβάλλουν στην αύξηση της ηλιακής ακτινοβολίας στην απορροφητική επιφάνεια των συλλεκτών, «αντικαθιστώντας» σε κάποιο βαθμό τις θερμικές απώλειες των συλλεκτών, οι οποίες μεταδίδονται στο περιβάλλον λόγω της αυξημένης διαφοράς θερμοκρασίας.

Η επίδραση των κατόπτρων στην αποδιδόμενη θερμότητα της διάταξης με σταθερά κάτοπτρα και για λειτουργία των συλλεκτών σε χαμηλές θερμοκρασίες, είναι 20%-25% ετησίως. Η αύξηση της θερμοκρασίας λειτουργίας του συλλέκτη, έχει ως αποτέλεσμα η αποδιδόμενη θερμότητα να φτάνει το 100%, ή και ακόμη να το ξεπερνά, για λειτουργία του θερμικού συλλέκτη σε υψηλές θερμοκρασίες και πλησίον της θερμοκρασίας στασιμότητας (μέγιστη θερμοκρασία του συλλέκτη). Στην περίπτωση εφαρμογής της διάταξης για αφαλάτωση νερού, τα ενισχυτικά κάτοπτρα μπορούν να εξασφαλίσουν μεγαλύτερη ποσότητα θερμού ρευστού ή ακόμη και θερμό ρευστό υψηλότερης θερμοκρασίας, ιδιαίτερα την περίοδο από την άνοιξη έως το φθινόπωρο.



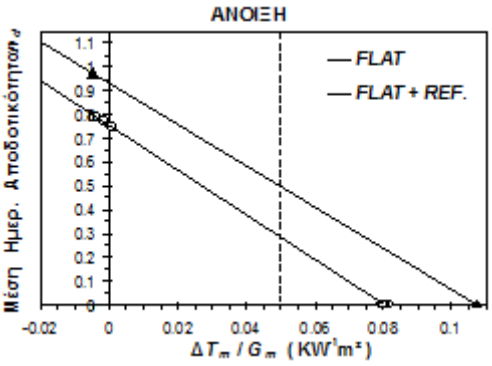
Εικόνα 1 Διάταξη θερμικών ηλιακών συλλεκτών με προσθήκη ενισχυτικών ανακλαστήρων

Η προσθήκη ενισχυτικών κατόπτρων τόσο σε επίπεδους συλλέκτες όσο και σε συλλέκτες κενού μπορεί να βελτιώσει σημαντικά την απόδοσή τους στις θερμοκρασίες, 130 °C - 140 °C καθιστώντας τους κατάλληλους για την εν λόγω εφαρμογή. Στην Εικ.1 παρατίθεται η πειραματική διάταξη που προτείνεται, σύμφωνα με την οποία στην επιφάνεια εμπρός και μεταξύ των σειρών του πεδίου των συλλεκτών μπορούν να τοποθετηθούν ενισχυτικά κάτοπτρα. Με τον τρόπο αυτό ενισχύεται η ηλιακή ενέργεια που προσπίπτει στην απορροφητική επιφάνεια των συλλεκτών, με αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας λειτουργίας τους. Η

απόσταση μεταξύ της σειράς των συλλεκτών (D), το μήκος του ενισχυτικού κατόπτρου (R) και η γωνία κλίσης των συλλεκτών (β) καθορίζονται από το γεωγραφικό πλάτος και της εποχής κύριας λειτουργίας της εγκατάστασης. Η γωνία πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας καθορίζει τελικά το ποσοστό της επιπρόσθετης ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στο πεδίο των συλλεκτών, καθώς η κάθετη επιφάνεια στο επίπεδο των ηλιακών ακτίνων διαφοροποιείται ανάλογα με την εποχή του έτους. Επιλέγεται συνήθως κλίση ηλιακών συλλεκτών ίση με το γεωγραφικό πλάτος β του τόπου εγκατάστασης (για την Πάτρα είναι β = 38.25°), γωνία κατόπτρου λ ίση με το μέγιστο ύψος του ήλιου για το χειμερινό ηλιοστάσιο του τόπου εγκατάστασης (λ = 28.3° για την Πάτρα) και έτσι προκύπτει η γωνία γ μεταξύ συλλέκτη - κατόπτρου (γ=113.45°). Στα πειράματα που έγιναν στο ΕΗΕ-ΠΠ χρησιμοποιήθηκαν επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες πλάτους L = 0.6 m, μήκους κατόπτρου R = 0.78 m και η απόσταση μεταξύ των δύο σειρών συλλεκτών ήταν D = 1.16 m. Με τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της διάταξης που αναφέρθηκε προηγουμένως έγιναν πειράματα στο πεδίο δοκιμών του ΕΗΕ-ΠΠ με την πειραματική διάταξη να είναι κατάλληλη για αποδοτική λειτουργία όλο το έτος. Τα μετρούμενα μεγέθη ήταν: η θερμοκρασία εισόδου του νερού στους συλλέκτες T_i (°C), θερμοκρασία εξόδου του νερού από τους συλλέκτες T_o (°C), θερμοκρασία περιβάλλοντος T_a (°C), θερμοκρασία της επιφάνειας του απορροφητή των συλλεκτών, η ηλιακή ακτινοβολία στο επίπεδο του συλλέκτη G (Wm^{-2}), η ταχύτητα του πνέοντος ανέμου V_w (ms^{-1}) και η ροή της μάζας του νερού dm/dt (~0.005 kgs^{-1}).

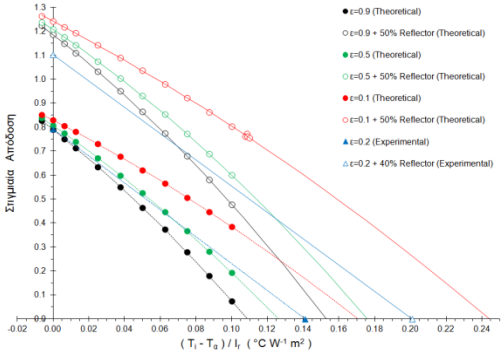
3. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

3.1 Επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες



Εικόνα 2 Διάγραμμα της μέσης ημερήσιας αποδοτικότητας θερμικών συλλεκτών, χωρίς και με ενισχυτικό κάτοπτρο

Επιδιώχθηκαν και λήφθηκαν μετρήσεις για όλο το έτος και στην Εικ. 2 δείχνεται ενδεικτικά η αποδοτικότητα των θερμικών συλλεκτών χωρίς και με τη χρήση του ενισχυτικού κατόπτρου για την ΑΝΟΙΞΗ. Από τα αποτελέσματα αυτά φαίνεται ότι για λειτουργία των συλλεκτών σε ΔΤ/Ι=0.05 KW^{-1}m^2, που αντιστοιχεί σε θερμοκρασία λειτουργίας περί τους 50 °C, η βελτίωση είναι στο 80%. Η χρήση των ενισχυτικών κατόπτρων μπορεί να οδηγήσει σε αποδοτική λειτουργία πάνω από τις θερμοκρασίες ΖΝΧ, δηλαδή σε 80 °C, σε 120 °C, ή υψηλότερες, για εφαρμογές ηλιακής ψύξης, αφαλάτωση, βιομηχανική θερμότητα, κλπ. Η σύζευξη συλλεκτών και κατόπτρων βελτιώνει κατά 30% την αποδιδόμενη θερμότητα μιας εγκατάστασης για λειτουργία της γύρω στους 50 °C. Η βελτίωση θα είναι ακόμη μεγαλύτερη για υψηλότερη θερμοκρασία λειτουργίας των συλλεκτών, οπότε η χρήση των ενισχυτικών ανακλαστήρων ενδείκνυται για διατάξεις ηλιακών συλλεκτών που απαιτείται λειτουργία τους σε σχετικά υψηλές θερμοκρασίες, ή για διατάξεις που η λειτουργία τους είναι πιο σημαντική την περίοδο από άνοιξη έως και φθινόπωρο, όπως είναι η αφαλάτωση και η ηλιακή ψύξη. Οι διατάξεις αυτές μπορούν να εφαρμοστούν σε διάφορους τύπους συλλεκτών (επίπεδους συλλέκτες, συλλέκτες σωλήνα κενού, συλλέκτες αέρα, κλπ), με την προϋπόθεση πως οι συλλέκτες έχουν αντοχή στην θέρμανση της συσκευής για προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία 1500-2000 W/m^2 και θερμοκρασία 200 °C - 250 °C.



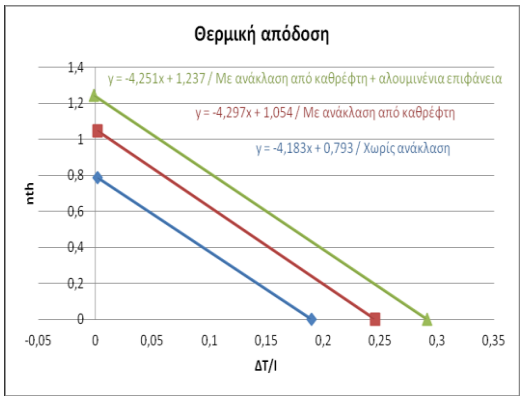
Εικόνα 3. Διάγραμμα της στιγμιαίας αποδοτικότητας των θερμικών συλλεκτών χωρίς και με ενισχυτικό κάτοπτρο.

Στην Εικ. 3 παρουσιάζονται τα θεωρητικά και πειραματικά αποτελέσματα της στιγμιαίας θερμικής αποδοτικότητας επίπεδων συλλεκτών απλής μαύρης βαφής (ε=0.9) και επιλεκτικής επίστρωσης του απορροφητή (ε=0.5 και ε=0.1) χωρίς τη χρήση ενισχυτικού κατόπτρου αλλά και με τη χρήση του. Από το διάγραμμα αυτό παρατηρείται μια σημαντική αύξηση της αποδιδόμενης θερμότητας από τη χρήση των ενισχυτικών ανακλαστήρων. Από τα αποτελέσματα αυτά γίνεται αντιληπτό ότι η θερμική αποδοτικότητα των συλλεκτών βελτιώνεται σημαντικά ιδιαίτερα στις υψηλές θερμοκρασίες λειτουργίας. Αυτό κρίνεται ιδιαίτερα σημαντικό για το ερευνητικό έργο, καθώς παρατηρείται διπλασιασμός της αποδιδόμενης θερμότητας των συλλεκτών στο θερμοκρασιακό εύρος λειτουργίας της μηχανής Rankine. Στην ίδια Εικόνα παρουσιάζονται επίσης πειραματικά αποτελέσματα από επίπεδο συλλέκτη επιλεκτικής επίστρωσης απορροφητικής επιφάνειας (ε=0.2). Κάποιες διαφορές που παρουσιάζονται μεταξύ των θεωρητικών και των πειραματικών τιμών οφείλονται στις θεωρητικές προσεγγίσεις που έγιναν για το διαφανές κάλυμμα (θεωρήθηκε υψηλής διαπερατότητας) και για την συμβολή του κατόπτρου (θεωρήθηκε λίγο μεγαλύτερη, στο 40 %).

3.2 Ηλιακοί συλλέκτες σωλήνων κενού

Τα ενισχυτικά κάτοπτρα, εκτός από την βελτίωση που επιφέρουν στους επίπεδους συλλέκτες, έχουν σημαντική συμβολή και στους συλλέκτες σωλήνων κενού. Για την πειραματική μελέτη των συλλεκτών αυτών εξετάστηκαν τρεις περιπτώσεις: (α) απλοί σωλήνες κενού, (β) σωλήνες κενού με κάτοπτρο πίσω από τους σωλήνες και (γ) σωλήνες κενού με πίσω κάτοπτρο και πρόσθετο εμπρόσθιο κάτοπτρο. Οι τρεις αυτές περιπτώσεις περιλαμβάνουν τα τρία διαφορετικά ενδεχόμενα εφαρμογής των συλλεκτών σωλήνων κενού.

Οι σωλήνες κενού έχουν το βασικό πλεονέκτημα των μειωμένων θερμικών απωλειών, που παρέχει τη δυνατότητα επίτευξης υψηλότερων θερμοκρασιών αποδοτικής λειτουργίας, σε σχέση με τους ηλιακούς θερμικούς επίπεδους συλλέκτες. Στις περισσότερες περιπτώσεις εφαρμογής τους είναι του απλού τύπου, ενώ η χρήση του πίσω κατόπτρου εφαρμόζεται κυρίως στους θερμοσιφωνικού τύπου συλλέκτες σωλήνων κενού μέχρι τώρα.



Εικόνα 4. Διάγραμμα της στιγμιαίας αποδοτικότητας των θερμικών συλλεκτών σωλήνων κενού απλών, με πίσω κάτοπτρο και πρόσθετο εμπρόσθιο κάτοπτρο.

Η προτεινόμενη διάταξη της παρούσας εργασίας είναι η (γ), όπου περιλαμβάνεται και η προσθήκη ενισχυτικού ανακλαστήρα μπροστά από το σύστημα του συλλέκτη σωλήνα κενού. Από τα πειράματα σταθερής κατάστασης που έγιναν στο ΕΗΕ-ΠΠ (Αποστολοπούλου, 2013) παρουσιάζεται (Εικ. 4) μια αύξηση στην μέγιστη απόδοση (για λειτουργία σε συνθήκες θερμοκρασίας περιβάλλοντος) κατά 25% της περίπτωσης (β) με το πίσω κάτοπτρο, σε σχέση με τον απλό τύπο συλλέκτη σωλήνων κενού (α) και αύξηση περί το 20% της περίπτωσης (γ) με την προσθήκη και εμπρόσθιου κατόπτρου σε σχέση με την περίπτωση (β). Παρόμοια αυξητικά ποσοστά παρουσιάζονται και στην περίπτωση της λειτουργίας της διάταξης στην μέγιστη θερμοκρασία, όπου η απόδοση είναι μηδενική.

Οι θερμοκρασίες που επιτεύχθηκαν στα πειράματα που έγιναν ήταν αντίστοιχα για τις τρεις περιπτώσεις: (α) 193 °C, (β) 238 °C, και (γ) 285 °C, με την θερμοκρασία περιβάλλοντος να είναι περί τους 21 °C και την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία στους συλλέκτες, περί τα 900 Wm^{-2}.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η αύξηση της αποδιδόμενης θερμότητας ή/και της θερμοκρασίας των θερμικών απορροφητών των επιπέδων συλλεκτών και συλλεκτών σωλήνων κενού με την χρήση πρόσθετων ενισχυτικών κατόπτρων, θα διευρύνει την χρήση τους τόσο στη θέρμανση νερού οικιακής χρήσης, σε ξενοδοχεία, νοσοκομεία, αθλητικά κέντρα, κλπ, όσο και σε άλλες εφαρμογές που ακόμη δεν είναι ακόμη οικονομικά αποδοτικές επιλογές, όπως είναι η ψύξη χώρων, η αφαλάτωση, η βιομηχανική θερμότητα, κλπ Όσον αφορά την πειραματική μελέτη των θερμικών συλλεκτών με την απλή μαύρη βαφή, διαπιστώνεται ότι με τη χρήση του ενισχυτικού κατόπτρου θερμοκρασία 150 °C και πλέον βαθμών μπορεί εύκολα να επιτευχθεί. Στην περίπτωση των θερμικών συλλεκτών με επιλεκτικό απορροφητή παρατηρήθηκε ένα ακόμη καλύτερο αποτέλεσμα για την μέγιστη θερμοκρασία, που μετρήθηκε στο ύψος των 180 °C - 200 °C. Όσον αφορά τέλος τους θερμικούς συλλέκτες σωλήνων κενού, η χρήση κατόπτρου πίσω από τους σωλήνες κενού και εμπρόσθιου ενισχυτικού ανακλαστήρα, το αποτέλεσμα ήταν πολύ ενθαρρυντικό τόσο στην αύξηση της αποδιδόμενης θερμότητας όσο και στην επίτευξη υψηλών θερμοκρασιών. Αυτά τα δεδομένα δείχνουν ότι οι συλλέκτες σωλήνων κενού με χρήση ενισχυτικών κατόπτρων είναι αποδοτικές ηλιακές συσκευές για τις διατάξεις αφαλάτωσης με μηχανές Rankine και διαδικασίες αντίστροφες όσμωσης.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Manolakos D., Papadakis G., Papantonis D., Kyritsis S. 2001. A simulation-optimisation programme for designing hybrid energy systems for supplying electricity and fresh water through desalination to remote areas: Case study: the Merssini village, Donoussa island, Aegean Sea, Greece. Energy 26 (7), 679-704.

Tripanagnostopoulos Y. and Yianoulis P. 1996. CPC solar collectors with multichannell absorber. *Solar Energy* 58 (1-3), 49-61,

Tripanagnostopoulos Y. and Souliotis M. 2005. Booster Reflector Contribution to Performance Improvement of Solar Collectors. Proc. in CD, Int. Conf. WREC 2005: 63–68, Aberdeen, Scotland, UK, 22–27 May 2005.

Tripanagnostopoulos Y., Souliotis M., Nousia, Th. 2000b. Solar Collectors with Colored Absorbers. Solar Energy 68, No 4, 343–356

Tripanagnostopoulos Y., Yianoulis P., Papaefthimiou S. and Zafeiratos S. 2000a. CPC solar collectors with flat bifacial absorbers. *Solar energy* 69 (3), 191-203.

Αποστολοπούλου Αντιγόνη. 2013. «Σύνθετες Διατάξεις Φωτοβολταϊκών και Θερμικών Ηλιακών Συσκευών». Διπλωματική-Ερευνητική Εργασία Μεταπτυχιακού Προγράμματος στην Ενέργεια και Περιβάλλον, Τμήμα Φυσικής Παν/μιο Πατρών.

ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΕΝΩΣΗ
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΤΑΜΕΙΟ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ
ΕΠΑΝ ΙΙ
ΕΣΠΑ 2007-2013
Υπουργείο Παιδείας και Θρησκευμάτων, Πολιτισμού και Αθλητισμού
ΓΓΕΤ – ΕΥΔΕ-ΕΤΑΚ
Ε. Π. Ανταγωνιστικότητα και Επιχειρηματικότητα (ΕΠΑΝ ΙΙ), ΠΕΠ Μακεδονίας – Θράκης, ΠΕΠ Κρήτης και Νήσων Αιγαίου, ΠΕΠ Θεσσαλίας – Στερεάς Ελλάδας – Ηπείρου, ΠΕΠ Αττικής

ΧΡΗΣΗ ΣΑΡΩΤΗ ΛΕΙΖΕΡ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΤΡΗΣΗ ΒΙΟΜΑΖΑΣ ΚΑΙ ΥΨΟΥΣ ΦΥΤΩΝ ΣΕ ΤΡΕΙΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ

Α. Χατζηνίκος, Θ. Γέμτος, Σ. Φουντάς
Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Οδός Φυτόκου, Ν. Ιωνία Μαγνησίας, Τ.Κ. 38334

Αναπτύχθηκε πειραματική διάταξη με σαρωτή λέιζερ για τη συλλογή δεδομένων από το χωράφι για την εκτίμηση της βιομάζας και του ύψους φυτών σε τρεις καλλιέργειες (σόγια, ηλίανθο και σκληρό σιτάρι). Η πειραματική διάταξη έδινε τη δυνατότητα για μεταβλητό ύψος και γωνίας μέτρησης του σαρωτή και συνδέονταν στο υδραυλικό σύστημα ενός ελκυστήρα. Οι σχετικοί παράμετροι μετρήθηκαν στο χωράφι και συγκρίθηκαν με τις τιμές που εκτιμήθηκαν από τις μετρήσεις του αισθητήρα. Η συσχέτιση ήταν υψηλή και για την εκτίμηση του ύψους (0,90-0,94), ενώ εξίσου υψηλή για την εκτίμηση της βιομάζας ήταν εξίσου υψηλός (0,88-0,82).

Λέξεις κλειδιά: Σαρωτής λέιζερ, παράμετροι καλλιέργειας, ηλίανθος, σόγια, σκληρό σιτάρι.

THE USE OF A LASER SCANNER FOR MEASURING CROP PROPERTIES IN THREE CROPS

A. Chatzinikos, T.A. Gemtos, S. Fountas
Laboratory of Farm Mechanisation, Department of Agriculture Crop Production and Rural Development, University of Thessaly, Fytokou str., 38334 Volos, Greece
ahatzin@agr.uth.gr

A platform with a laser scanner mounted on it was developed for crop data collection in the field. Biomass and crop height of three crops (sunflower, soybeans and winter wheat) was measured. The sensing platform was mounted on a tractor, ran along the crop and measured the crop height and biomass. The relevant crop parameters were measured manually and compared to the values estimated based on instrument measurements. High correlation coefficients were generally observed and varied according to the growth stage of the crop. The correlation was both high for estimating crop height (r^2=0.94 to r^2=0.90) and for biomass mass (r^2=0.88 to r^2=0.82).

Keywords: Laser scanner, crop properties, sunflower, soybeans, winter wheat

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η χρήση νέων τεχνολογιών στη γεωργία επιτρέπει σε αγρότες και ερευνητές να συλλέγουν σημαντικές πληροφορίες από το χωράφι για να εκτιμήσουν την κατάσταση μιας καλλιέργειας κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου. Μία από τις νέες τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για το σκοπό αυτό είναι οι τηλε-αισθητήρες. Οι αισθητήρες αυτοί έχουν την ιδιότητα να ανιχνεύουν την ιδιότητα ενός αντικειμένου χωρίς τη φυσική επαφή του και διακρίνονται με βάση το μέσο ανίχνευσης που είναι το μαγνητικό πεδίο, πίεση αέρα, φως και υπέρηχοι (Kanade & Sommer, 1983). Στη γεωργία και τη δασοκομία έχουν συστηματικά χρησιμοποιηθεί τα τελευταία χρόνια οι τηλε-αισθητήρες και κυρίως υπέρηχοι και σαρωτές λέιζερ, για τη εκτίμηση παραμέτρων της φυτείας.

Σε δασικά δένδρα έγινε η μέτρηση του δείκτη φυλλικής επιφάνειας, του ύψους και της διαμέτρου της κόμης με τη χρήση επίγειων αισθητήρων λέιζερ (Bienert et al., 2007; Riaño et al., 2004).

Αισθητήρες υπερήχων χρησιμοποιήθηκαν για την ανίχνευση ζιζανίων και κενών κηλίδων μέσα σε καλλιέργεια βατόμουρων (Swain et al., 2009).

Σε τρεις διαφορετικές καλλιέργειες (ελαιοκράμβη, σκληρό σιτάρι και σίκαλη) το ύψος των φυτών είχε υψηλή συσχέτιση (r^2=0.75 to r^2=0.99) με μετρήσεις της βιομάζας με τα χέρια (Ehlert et al., 2009).

Στατικές και δυναμικές μετρήσεις ύψους του μίσχανθου έγιναν με τη χρήση σαρωτή λέιζερ και συσχετίστηκαν με πραγματικές μετρήσεις ύψους με μέσο σφάλμα 5,08% (στατικές) και 3,8% (δυναμικές) μετρήσεις (Zhang & Grift, 2012).

Σαρωτές λέιζερ χρησιμοποιήθηκαν για εκτίμηση παραμέτρων σε οπωρώνες όπως ο Δείκτης Φυλλικής επιφάνειας, ύψος δένδρων και πυκνότητα φυλλώματος (Arno et al., 2009). Σε οπωρώνες λεμονιών στη Φλόριντα, Η.Π.Α., μετρήθηκε η κώμη των δένδρων με σαρωτή λέιζερ και συσχετίστηκαν με πραγματικές μετρήσεις με υψηλό συντελεστή προσδιορισμού (r^2=0.85) (Tumbo et al., 2002). Ο Moorthy et al. (2011) χρησιμοποίησε ένα δισδιάστατο σαρωτή λέιζερ για την εκτίμηση του ύψους δένδρων, ύψους και πλάτους της κόμης ελαιόδενδρων. Οι μετρήσεις του αισθητήρα παρουσιάσαν υψηλή συσχέτιση σε σχέση με τις πραγματικές μετρήσεις και στις τρεις παραμέτρους (r^2=0.97, r^2=0.99 and r^2=0.76 αντίστοιχα).

Στις αχλαδιές, ο όγκος της κόμης και η πυκνότητα του φυλλώματος μετρήθηκε με σαρωτή λέιζερ και συσχετίστηκε με το ύψος και τη μισή τομή της κώμης (r^2=0.86) (Escola et al., 2009).

Οι μετρήσεις από τους σαρωτές λέιζερ χρησιμοποιήθηκαν για την εφαρμογή μεταβλητών καλλιεργητικών φροντίδων σε αμπέλια και οπωρώνες, με βάση την παραλλακτικότητα στη κώμη τους (Gil et al., 2006; Llorens et al., 2011).

Σε αυτή την έρευνα κατασκευάστηκε μία πειραματική διάταξη με αισθητήρα απόστασης (επίγειος σαρωτής λέιζερ) για τη μέτρηση παραμέτρων καλλιέργειας (βιομάζα και ύψος) κατά

τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου. Στόχος της έρευνας ήταν να υπολογιστεί σε ποιο στάδιο ανάπτυξης και γωνία μέτρησης επιτυγχάνεται καλύτερη εκτίμηση του ύψους και της βιομάζας τριών διαφορετικών καλλιεργειών (σκληρό σιτάρι, σόγια και ηλίανθος).

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1. Αγρός

Η έρευνα διεξήχθη στο αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου 2011-12 σε καλλιέργειες σκληρού σίτου, σόγιας και ηλίανθου. Το σκληρό σιτάρι σπάρθηκε στις 1/12/2011 και οι δύο εαρινές καλλιέργειες (σόγια, ηλίανθος) στις 1/5/2012. Οι δύο πειραματικοί αγροί των εαρινών καλλιεργειών είχαν μήκος 60 μέτρα και πλάτος 3 μέτρα, που αντιστοιχεί στο πλάτος εργασίας της σπαρτικής και για το σκληρό σιτάρι είχε διαστάσεις 70 μέτρα μήκος και πλάτος όσο το πλάτος της σπαρτικής (2,85μ.) Κάθε πειραματικός αγρός χωρίστηκε σε 24 πειραματικά τεμάχια, όπου έγιναν οι μετρήσεις ύψους και χλωρής βιομάζας. Το μήκος του κάθε πειραματικού τεμαχίου ήταν 2 μέτρα και το πλάτος 2 μέτρα. Ανάμεσα στα πειραματικά τεμάχια υπήρχε διάκενο χωρίς φυτά μήκους 0,5 μέτρου στις εαρινές καλλιέργειες και 1 μέτρο στο σκληρό σιτάρι.

2.2. Σαρωτής λέιζερ

Ο αισθητήρας που χρησιμοποιήθηκε για τη μέτρηση των παραμέτρων της καλλιέργειας ήταν ο σαρωτής λέιζερ SICK LMS 200 (SiCK AG, Germany). Ο σαρωτής λέιζερ είναι ένας οπτικός δισδιάστατος αισθητήρας που η λειτουργία του βασίζεται στην αρχή του «χρόνου πτήσης» (Time-of-flight, TOF), όπου για τη μέτρηση της απόστασης μετριέται ο χρόνος που κάνει το φως να ταξιδέψει έως το κοντινότερο εμπόδιο και να επιστρέψει στο σημείο εκπομπής του. Η δέσμη λέιζερ που εκπέμπει ο αισθητήρας είναι στο κοντινό υπέρυθρο (905nm). Η δέσμη λέιζερ ανακλάται πάνω σε ένα περιστρεφόμενο κάτοπτρο και αυτό επιτρέπει τη σάρωση μιας επιφάνειας καθώς μετράει την απόσταση σε πολλές γωνίες. Η γωνιακή ανάλυση της μέτρησης μπορεί να ρυθμιστεί από 1° ως 0,25°, ενώ το βεληνεκές μέτρησης φτάνει στα 80 μέτρα. Η ακρίβεια στη μέτρηση του αισθητήρα για εύρος μέτρησης από 1 μέτρο ως 8 μέτρα είναι 15 χιλιοστά, ενώ η ανάλυση της μέτρησης είναι 10 χιλιοστά.

2.3 Πλαίσιο σαρωτή λέιζερ

Ο σαρωτής λέιζερ προσαρμόστηκε πάνω σε ειδική κατασκευή που έδινε τη δυνατότητα μεταβολής της γωνίας και ύψους μέτρησης. Το ύψος μέτρησης καθορίζονταν με βάση το στάδιο ανάπτυξης της καλλιέργειας και του ύψους της. Το ύψος μέτρησης ρυθμίζονταν από 90 ως 180 εκατοστά από την επιφάνεια του εδάφους. Το μέγιστο επιλέχθηκε στα τελευταία στάδια ανάπτυξης του ηλίανθου, ενώ το ελάχιστο ύψος επιλέχθηκε για τις πρώτες μετρήσεις όλων των καλλιεργειών.

Η κοιλοδοκός πάνω στην οποία στηρίζεται ο αισθητήρας μπορούσε να λάβει τέσσερις θέσεις-γωνίες μέτρησης (45°, 60°, 75° και 90°). Η γωνία μέτρησης είναι αυτή σχηματίζεται από τη η δέσμη λέιζερ του αισθητήρα ως προς την επιφάνεια του εδάφους.

Η ειδική κατασκευή τοποθετήθηκε πάνω σε πλαίσιο που είχε τη δυνατότητα να έλκεται από τον γεωργικό ελκυστήρα. Η σύνδεση του πλαισίου γινότανε στα τρία σημεία του υδραυλικού συστήματος του γεωργικού ελκυστήρα για να μπορεί να μεταφέρεται σε εκτός του χωραφιού διαδρομές. Η κατασκευή είχε 2 ρόδες με τις οποίες περιορίζονταν οι μετρήσεις από τις ανωμαλίες του εδάφους είχε 2 ρόδες.

Η ταχύτητα που κινούνταν ο γεωργικός ελκυστήρας μέσα στο χωράφι ήταν με τη μικρότερη δυνατή ταχύτητα του ελκυστήρα (περίπου 0.32 μέτρα το δευτερόλεπτο). Ο λόγος που χρησιμοποιήθηκε αυτή η ταχύτητα ήταν για τη μείωση του σφάλματος της μέτρησης του αισθητήρα από τις αναπηδήσεις του γεωργικού ελκυστήρα που οφείλονται στις ανωμαλίες του εδάφους.

Εικόνα 1. Η πειραματική διάταξη με το σαρωτή λέιζερ σε γωνία μέτρησης 0°.

2.4 Μετρήσεις και ρυθμίσεις αισθητήρα

Κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου έγιναν για κάθε μία από τις καλλιέργειες 6 συνολικά σαρώσεις. Η πρώτη σάρωση της καλλιέργειας έγινε ως μέτρηση αναφοράς πριν το φύτρωμα του σπόρου, ενώ οι υπόλοιπες μετρήσεις έγιναν ανάλογα με το στάδιο ανάπτυξης της καλλιέργειας των φυτών.

Σε κάθε ημέρα έγιναν 5 μετρήσεις, ανάλογα με τη γωνία μέτρησης. Οι δύο πρώτες σαρώσεις γινόταν σε γωνία μέτρησης 90° και οι υπόλοιπες τρεις στις αντίστοιχες τρεις γωνίες μέτρησης (45°, 60° και 75°).

Πριν από κάθε μέτρηση της φυτείας, γινόταν μέτρηση αναφοράς σε σταθερό επίπεδο δάπεδο τσιμέντου. Η μέτρηση αυτή γινόταν για να γίνει η διόρθωση των μετρήσεων αποστάσεων.

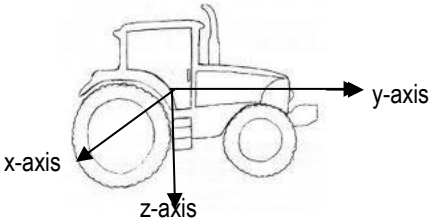
Το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε για την καταγραφή των δεδομένων καθώς και τη ρύθμιση της ταχύτητας λήψης δεδομένων και εύρους γωνιών μέτρησης ήταν το LMS-400 (Sick AG). Τα δεδομένα αποθηκεύτηκαν σε μορφή csv που μπορούσε να εισαχθεί για επεξεργασία στο Microsoft Excel. Η ταχύτητα καθορίστηκε στη μέγιστη δυνατή με σειριακή θύρα τύπου RS-232 (38400 kbps). Το εύρος της γωνίας μέτρησης καθορίστηκε στις 100° (40-140°) με γωνιακή ανάλυση 1°. Οι μετρήσεις

γίνονταν σε χιλιοστά με ανάλυση μέτρησης 10 χιλιοστών.

Με τις ρυθμίσεις που επιλέχθηκαν ο αισθητήρας κατέγραφε 101 μετρήσεις σε κάθε σάρωση. Η κάθε μέτρηση περιέχει τρεις τιμές, τη γωνία μέτρησης με τιμές από 40ο ως 140ο, την απόσταση του αισθητήρα από το αντικείμενο καθώς και την πραγματική ώρα της λήψης των δεδομένων (ώρα υπολογιστή).

2.5. Σύστημα συντεταγμένων

Όλες οι τιμές των αποστάσεων αποτυπώθηκαν σε ένα επίπεδο αναφοράς καρτεσιανών συντεταγμένων. Ως αρχή του ορίζεται το σημείο όπου ο αισθητήρας βρίσκεται στην αρχή του πειραματικού αγρού. Στην εικόνα 2 οι άξονες του συστήματος συντεταγμένων ορίζονται πάνω στο γεωργικό ελκυστήρα, όπου ως ο άξονας x ήταν κάθετος προς την κατεύθυνση του γεωργικού ελκυστήρα και αποτελεί το πλάτος του πειραματικού αγρού, ο άξονας y ήταν παράλληλος προς την κατεύθυνση του ελκυστήρα και ορίζει το μήκος του πειραματικού αγρού και άξονας z ήταν ο νοητός άξονας του ύψους των φυτών. Οι τιμές των συνιστωσών των αξόνων x και z προκύπτουν απευθείας από την τριγωνομετρία βάση των εξισώσεων 1 και 3, ενώ η τιμή της συνιστώσας του άξονα y προκύπτει από το ρυθμό λήψης των δεδομένων (εξίσωση 2). Οι άξονες y και z έχουν πάντα θετικό πρόσημο ενώ ο άξονας x αποκτά και αρνητικές τιμές.



Εικόνα 2.Σύστημα συντεταγμένων αναφοράς

$x = \cos(a)*R$ (1)
$y = L/t*b*c$ (2)
$z = \sin(a)*R$ (3)

Όπου x,y και z, οι τιμές της κάθε συνιστώσας, a ήταν η γωνία μιας απλής μέτρησης ($40<a<140$), R είναι η μετρούμενη απόσταση ανάμεσα στο αντικείμενο και τον αισθητήρα, L ήταν το μήκος του πειραματικού αγρού, t ήταν ο συνολικός χρόνος που απαιτούνταν για να σαρωθεί ολόκληρος ο πειραματικός αγρός, b ήταν οι μετρήσεις που λάμβανε ο αισθητήρας ανά δευτερόλεπτο και c ήταν ο αριθμός σειράς σάρωσης.

Για τον υπολογισμό του ύψους χρησιμοποιείται η διαφορά της τιμής του άξονα z από τη τιμή του άξονας z της μέτρησης αναφοράς χρησιμοποιώντας την παρακάτω εξίσωση:

$H = z_{ref} - z$ (4)

Όπου z_{ref} ήταν η απόσταση του αισθητήρα από το επίπεδο αναφοράς και z ήταν η τιμή της απόστασης του αισθητήρα από το αντικείμενο που εντοπίζει.

Για την εκτίμηση της χλωρής βιομάζας χρησιμοποιήθηκε ο όγκος που δημιουργείται από τις συνεχόμενες σαρώσεις. Ο όγκος υπολογίστηκε από την ολοκλήρωση των επιφανειών που δημιουργούνται από τις παρεμβολές δύο σημείων με τη μέθοδο του τραπεζίου με την ακόλουθη εξίσωση:

$A = (z_2-z_1)/2*(x_2-x_1)$ (5)

Όπου z_1, z_2, x_1, x_2 είναι οι τιμές των αξόνων x και z

2.6. Δεδομένα αγρού

Μέτρηση του ύψους φυτών των εαρινών καλλιεργειών έγινε με τη χρήση χάρακα που είχε ανάλυση 1 χιλιοστού. Τα φυτά που επιλέχθηκαν για τη μέτρηση του ύψους ήταν σε κάθε πειραματικό τεμάχιο αυτά που αντιστοιχούν στα πρώτα πενήντα εκατοστά κάθε σειράς. Ο λόγος που επιλέχθηκαν αυτά τα φυτά ήταν για τη εύκολη διάκριση τους κατά το στάδιο της επεξεργασίας των δεδομένων του αισθητήρα. Στα σιτηρά λόγω του αδερφώματος των φυτών και της μικρής απόστασης των σειρών σποράς δεν ήταν εφικτή η διάκριση των φυτών για τη συσχέτιση του ύψους.

Για τη μέτρηση της χλωρής βιομάζας επιλέχθηκε η καταστροφική μέθοδος της κοπής φυτών. Στην κάθε καλλιέργεια και μέτρηση, επιλέχθηκαν 10 τυχαία δείγματα με μέγεθος για σιτηρά στα 50 x 50 εκατοστά, όπου αντιστοιχούσαν σε τρεις σειρές καλλιέργειας και στις εαρινές 50 x 75 εκατοστά, που αντιστοιχούσαν σε μία σειρά καλλιέργειας. Μετά την κοπή των φυτών ζυγίζονταν αμέσως η χλωρή βιομάζα, έτσι ώστε η υγρασία των δειγμάτων να μην επηρεαστεί από τις κλιματικές συνθήκες. Η ζυγαριά που χρησιμοποιήθηκε είχε ανάλυση 1 γραμμαρίου.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Στους πίνακες 1,2 και 3 παρουσιάζονται οι μέσες τιμές κάθε μέτρησης του ύψους φυτών και της χλωρής βιομάζας για σόγια, ηλίανθο και σκληρό σιτάρι αντίστοιχα. στη κάθε μέτρηση των διαφορετικών σταδίων ανάπτυξης για την κάθε μία καλλιέργεια. Οι τιμές της χλωρής βιομάζας είναι ανηγμένα σε κιλά το στρέμμα.

Πίνακας 1. Αποτελέσματα από τις μετρήσεις αγρού του ύψους και της βιομάζας στη σόγια.

Ημερομηνία Μέτρησης	Μέρες μετά τη σπορά	Ύψος φυτών (cm)	Βιομάζα (kg/στρ)
19/6/12	50	24	227
25/6/12	56	30	387
5/7/12	66	42	533
19/7/12	80	51	720
31/7/12	92	55	760

Πίνακας 2. Αποτελέσματα από τις μετρήσεις αγρού του ύψους και της βιομάζας στον ηλίανθο.

Ημερομηνία Μέτρησης	Μέρες μετά τη σπορά	Ύψος φυτών (cm)	Βιομάζα (kg/στρ)
8/6/12	39	48	645
13/6/12	44	66	1141
19/6/12	50	95	1483
25/6/12	56	115	4035
5/7/12	66	135	4627

Πίνακας 3. Αποτελέσματα από τις μετρήσεις αγρού της βιομάζας στο σκληρό σιτάρι.

Ημερομηνία Μέτρησης	Μέρες μετά τη σπορά	Βιομάζα (kg/στρ)
21/3/12	112	248
27/3/12	118	696
4/4/12	126	1684
24/4/12	146	1752
5/5/12	158	1856

Πίνακας 4. Συντελεστές προσδιορισμού μεταξύ των πραγματικών μετρήσεων και αισθητήρα του ύψους στη σόγια

Ημερομηνία Μέτρησης	Γωνία μέτρησης				
	0ο 1η	0ο 2η	15ο	30ο	45ο
19/6/12	0.566*	0.592*	0.503*	0.503*	0.404*
25/6/12	0.535*	0.750*	0.703*	0.700*	0.636*
5/7/12	0.872*	δ/δ	0.837*	δ/δ	0.765*
19/7/12	0.913*	0.929*	0.870*	0.865*	0.885*
31/7/12	0.853*	0.894*	0.896*	0.825*	0.845*

Όπου δ/δ σημαίνει ότι η μέτρηση δεν λήφθηκε
Όπου * σημαίνει ότι ο συντελεστής συσχέτισης είναι στατιστικά σημαντικός για p<0.05

Οι πίνακες 4 και 5 παρουσιάζουν τους συντελεστές προσδιορισμού μεταξύ των μετρούμενων παραμέτρων με τον αισθητήρα και των πραγματικών μετρήσεων στην καλλιέργεια της σόγιας. Στην καλλιέργεια της σόγιας παρατηρείται αύξηση του συντελεστή προσδιορισμού και στις δύο παραμέτρους, όσο αυξάνεται το ύψος του φυτού, με τη μέγιστη τιμή να την αποκτά όταν φτάνει στο τέλος της ανάπτυξης. Αυτό παρατηρείται γιατί όπως αναφέρθηκε στις πρώτες μετρήσεις η απόσταση ανάμεσα στον αισθητήρα και στην καλλιέργεια είναι μεγάλη και αυτό σε συνδυασμό με τις ανωμαλίες του εδάφους αυξάνουν σημαντικά το σφάλμα κατά τη διάρκεια των μετρήσεων.

Πίνακας 5. Συντελεστές προσδιορισμού μεταξύ των πραγματικών μετρήσεων και αισθητήρα της βιομάζας στη σόγια

Ημερομηνία Μέτρησης	Γωνία μέτρησης				
	0ο 1η	0ο 2η	15ο	30ο	45ο
19/6/12	0.310	0.408	0.250	0.274	0.244
25/6/12	0.332	0.565	0.381	0.489	0.422
5/7/12	0.868*	n/a	0.838*	n/a	0.559*
19/7/12	0.800*	0.503	0.822	0.689	0.730
31/7/12	0.811*	0.842*	0.870*	0.879*	0.784*

Όπου δ/δ σημαίνει ότι η μέτρηση δεν λήφθηκε
Όπου * σημαίνει ότι ο συντελεστής συσχέτισης είναι στατιστικά σημαντικός για p<0.05

Πίνακας 6. Συντελεστές προσδιορισμού μεταξύ των πραγματικών μετρήσεων και αισθητήρα του ύψους στον ηλίανθο

Ημερομηνία Μέτρησης	Γωνίες μέτρησης				
	0ο 1η	0ο 2η	15ο	30ο	45ο
8/6/12	0.832*	0.889*	0.918*	0.784*	0.832*
13/6/12	0.920*	0.912*	0.898*	0.880*	0.857*
19/6/12	0.893*	0.917*	0.872*	0.934*	0.700*
25/6/12	0.811*	δ/δ	0.834*	0.888*	δ/δ
5/7/12	0.469*	δ/δ	0.749*	0.795*	δ/δ

Όπου δ/δ σημαίνει ότι η μέτρηση δεν λήφθηκε
Όπου * σημαίνει ότι ο συντελεστής συσχέτισης είναι στατιστικά σημαντικός για p<0.05

Πίνακας 7. Συντελεστές προσδιορισμού μεταξύ των πραγματικών μετρήσεων και αισθητήρα της βιομάζας στον ηλίανθο

Ημερομηνία Μέτρησης	Γωνία μέτρησης				
	0ο 1η	0ο 2η	15ο	30ο	45ο
8/6/12	0.713*	0.850*	0.832*	0.704*	0.682*
13/6/12	0.722*	0.798*	0.512*	0.601*	0.655*
19/6/12	0.603*	0.055	0.663*	0.735*	0.055
25/6/12	0.365	n/a	0.512	0.686	n/a
5/7/12	0.132	n/a	0.301	0.408	n/a

Όπου δ/δ σημαίνει ότι η μέτρηση δεν λήφθηκε
Όπου * σημαίνει ότι ο συντελεστής συσχέτισης είναι στατιστικά σημαντικός για p<0.05

Σε αντίθεση με τη σόγια, ο ηλίανθος λόγω της μεγαλύτερης βιομάζας που παράγει, δείχνει σε όλα τα στάδια υψηλή συσχέτιση του ύψους εκτός από την τελευταία μέτρηση (πίν. 6). Αυτό συμβαίνει κυρίως στην μεγαλύτερη ανάπτυξη σε ύψος και βιομάζα που έχει ο ηλίανθος σε σχέση με τη σόγια, ενώ αντίθετα στην τελευταία μέτρηση παρατηρείται πολύ χαμηλή συσχέτιση στη μέτρηση στις 0ο καθώς ο αισθητήρας δεν μπορεί να κάνει καλή εκτίμηση των μετρήσεων των ακραίων σειρών λόγω του μεγάλου ύψους της καλλιέργειας κάτι που οφείλεται στην πολύ μικρή απόσταση ανάμεσα στην καλλιέργεια του ηλίανθου και του αισθητήρα και δεν μπορεί να αποτυπωθεί σωστά ολόκληρο το φυτό. Στην περίπτωση συσχέτισης μόνο της κεντρικής σειράς παρατηρείται σημαντική αύξηση του συντελεστή προσδιορισμού. Αντίθετα στη βιομάζα (πιν. 7), η συσχέτιση μειώνεται σημαντικά από την εμφάνιση της ταξιανθίας η οποία αλλοιώνει την εικόνα του πραγματικού όγκου που καταλαμβάνει η καλλιέργεια.

Τέλος στο σκληρό σιτάρι (πιν.8), οι συσχετίσεις ήταν ιδιαίτερα υψηλός στις τρεις πρώτες μετρήσεις, ενώ στις δύο τελευταίες μετρήσεις έδειξε χαμηλή συσχέτιση. Στις δύο τελευταίες μετρήσεις, η βιομάζα επηρεάστηκε σημαντικά από την αύξηση του βάρους του στάχυ, ενώ αντίστοιχα ο όγκος δεν επηρεάστηκε σημαντικά.

Πίνακας 8. Συντελεστές προσδιορισμού μεταξύ των πραγματικών μετρήσεων και αισθητήρα της βιομάζας στο σκληρό σιτάρι

Ημερομηνία Μέτρησης	Γωνίες μέτρησης				
	0ο 1η	0ο 2η	15ο	30ο	45ο
21/3/12	0.570	0.795*	0.691*	0.332	0.317
27/3/12	0.587*	0.560*	0.677*	0.554*	0.306
4/4/12	0.760*	0.823*	0.637*	0.793*	0.727*
24/4/12	0.455	0.432	0.515*	0.533*	0.485
5/5/12	0.102	0.155	0.132	0.221	0.091

Όπου δ/δ σημαίνει ότι η μέτρηση δεν λήφθηκε
Όπου * σημαίνει ότι ο συντελεστής συσχέτισης είναι στατιστικά σημαντικός για $p<0.05$

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε αισθητήρας λέιζερ για την εκτίμηση χλωρής βιομάζας και ύψους καλλιέργειας. Και στις δύο παραμέτρους καλλιέργειας παρατηρήθηκε υψηλή συσχέτιση κάτι που επιτρέπει να αξιοποιηθούν οι μετρήσεις από τους γεωπόνους και τους αγρότες για αξιολόγηση.

Σε όλες τις γωνίες μέτρησης παρουσιάστηκε ισχυρή συσχέτιση, με τις υψηλότερες τιμές να παρατηρούνται στις γωνίες μέτρησης 0ο και στις 15ο. Ο σημαντικότερος παράγοντας που επηρέασε σημαντικά τις μετρήσεις ήταν το στάδιο ανάπτυξης του φυτού. Στον ηλίανθο λόγω της σημαντικής βιομάζας που παρουσιάζει σημείωσε σημαντική συσχέτιση σε όλες τις μετρήσεις εκτός από την τελευταία, όπου επηρεάστηκε από τη διαμόρφωση της ταξιανθίας. Στη σόγια η εκτίμηση των παραμέτρων αυξάνεται με την ανάπτυξη του φυτού, ενώ στο σκληρό σιτάρι παρατηρήθηκε σημαντική συσχέτιση στα ενδιάμεσα στάδια ανάπτυξης, ενώ σημαντική απόκλιση από τις μετρήσεις παρατηρήθηκαν κυρίως στα πρώτα στάδια ανάπτυξής τους.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Arnó, J., Escolà, A., Vallès, J.M., Sanz, R., Masip, J., Palacín, J. and Rosell, J.R. 2009. Use of a ground-based LIDAR scanner to measure leaf area and canopy structure variability of grapevines. In C. Lokhorst, J. Huijmans & R. de Louw [Eds] Proceedings of 7th European Conference on Precision Agriculture, Wageningen Academic Publishers, The Netherlands, pp.177-184.

Bienert, , Scheller, S., Keane, E., Mohan, A. and Nugent, C. 2007. Tree detection and diameter estimations by analysis of forest terrestrial Laser Scanner point clouds. ISPRS Workshop on Laser Scanning 2007 and SilviLaser 2007, Espoo, September 12-14, 2007, Finland

Ehlert, D., Adamek, R. and Horn, H-J. 2009. Laser rangefinder-based measuring of crop biomass under field conditions. Precision Agriculture 10, 395-408.

Escolà, A., Arnó, J., Sanz, R., Camp, F., Masip, J., Solanelles, F. and Rosell, J.R. 2009. Sensing tree canopy parameters in real time for precision fructiculture/horticulture applications: methodology set-up and first results. In: C. Lokhorst, J. Huijmans & R. de Louw [Eds] Proceedings of 7th European Conference on Precision Agriculture, Wageningen Academic Publishers, The Netherlands, pp.185-191.

Gil, E., Escola, A., Rosell, J.,Planas S. and Vald, L. 2006. Variable rate application of plant protection products in vineyard using ultrasonic sensors. Crop Protection 26, 1287–1297.

Kanade, T. and Sommer, T. 1983. An optical proximity sensor for measuring surface position and orientation for robot manipulation Robotics Institute. Paper 512. http://repository.cmu.edu/robotics/512.

Llorens, J., Gil, E., Llop, J. and Queraltó, M. 2011. Georeferenced LiDAR 3D Vine Plantation Map Generation. Sensors 11, 6237-6256.

Moorthy, I., Millera, J., Jimenez J., Zarco-Tejadac, P., Hub, B. and Chend, J. 2011. Field characterization of olive (Olea europaea L.) tree crown architecture using terrestrial laser scanning data. Agricultural and Forest Meteorology 151, 204–214.

Riaño, D., Valladares, F., Condés, S. and Chuvieco, E. 2004. Estimation of leaf area index and covered ground from airborne laser scanner (Lidar) in two contrasting forests. Agricultural and Forest Meteorology 124, 269–275.

Swain, K.C., Zaman, Q.U.Z., Schumann A.W. and Percival, D.C. 2009. Detecting Weed and Bare-spot in Wild Blueberry Using Ultrasonic Sensor Technology. Paper No 096879, ASABE, St Joseph, MI, USA.

Tumbo, S. D., Salyani, M., Whitney, J., Wheaton T. and Miller W. 2002. Investigation of Laser and ultrasonic ranging sensots for measurements of citrus canopy volume. Applied Engineering in Agriculture. 18(3), 367–372.

Zhang, L. and Grift, T. 2012. A LIDAR-based crop height measurement system for Miscanthus giganteus. Computers and Electronics in Agriculture 85, 70–76

ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗΣ ΤΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ ΓΕΩΡΓΙΚΟΥ ΕΛΚΥΣΤΗΡΑ

Ζήσης Τσιρόπουλος[1], Σπύρος Φουντάς[2], Ιωάννης Γράβαλος[3], Θεοφάνης Γέμτος[1], Αυγουστίνος Αυγουστής[3], Δημήτριος Κατέρης[4], Παναγιώτης Ξυραδάκης[4], Βασίλειος Λιάκος[1]

[1]Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Οδός Φυτόκου, Νέα Ιωνία Μαγνησίας, Τ.Κ. 38446

[2]Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Ιερά Οδός 75, Αθήνα, Τ.Κ. 11185

[3]Τμήμα Μηχανικής Βιοσυστημάτων, Σχολή Τεχνολογίας Γεωπονίας, Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Λάρισας, Λάρισας, Τ.Κ. 41110

[4]Τομέας Εγγείων Βελτιώσεων, Εδαφολογίας και Γεωργικής Μηχανικής, Γεωπονική Σχολή Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη, Τ.Κ. 54124

Οι πρόσφατες αυξήσεις του κόστους των καυσίμων οδήγησαν τους παραγωγούς να ψάχνουν τρόπους για την ελαχιστοποίηση του κόστους και την αύξηση της παραγωγικότητας. Οι σύγχρονοι γεωργικοί ελκυστήρες με την χρήση της ηλεκτρονικής μονάδας ελέγχου (Electronic Control Unit – ECU) και του ηλεκτρονικού ρυθμιστή στροφών, μπορούν να αποδώσουν την μέγιστη ροπή σε ένα πολύ μεγάλο εύρος των στροφών του κινητήρα. Η μέθοδος "σχέση επάνω - τροφοδοσία κάτω" (Gear-Up Throttle-Down – GUTD) είναι μία μέθοδος για την λειτουργία ενός ελκυστήρα διατηρώντας τις στροφές του κινητήρα χαμηλότερα από τις ονομαστικές, που βελτιώνει την απόδοση του κινητήρα διατηρώντας υψηλό το φορτίο του. Παρ' όλα αυτά, η ορθή εφαρμογή της μεθόδου GUTD απαιτεί μεγάλη εμπειρία από τον χειριστή του ελκυστήρα.

Μέσω των πρωτοκόλλων SAE J1939 (δίαυλος CAN) και ISO 11783 (ISOBUS), που χρησιμοποιούνται στην βιομηχανία της γεωργικής μηχανικής, έχει γίνει δυνατή η λήψη των δεδομένων λειτουργίας ενός ελκυστήρα καθώς και των παρελκόμενων μηχανημάτων του. Η δυνατότητα συλλογής και παρακολούθησης των δεδομένων λειτουργίας του ελκυστήρα, μπορεί να βοηθήσει στην λήψη αποφάσεων και να οδηγήσει στην μείωση της κατανάλωσης καυσίμου.

Το λογισμικό χαρτογράφησης της κατανάλωσης καυσίμου γεωργικού ελκυστήρα, έχει κατασκευαστεί με χρήση της γλώσσας προγραμματισμού C# και έχει την δυνατότητα καταγραφής και χαρτογράφησης της κατανάλωσης καυσίμου ενός γεωργικού ελκυστήρα, σε πραγματικό χρόνο, μέσω της επικοινωνίας του με την ECU του ελκυστήρα διαμέσου των πρωτόκολλων SAE J1939 και ISO 11783.

Τα αποτελέσματα της εργασίας αυτής έδειξαν ότι μπορεί να γίνει μείωση της κατανάλωσης καυσίμου έως και 40% με την χρήση του λογισμικού και την κατάλληλη επιλογή σχέσης και στροφών του κινητήρα.

Λέξεις κλειδιά: λογισμικό χαρτογράφησης, κατανάλωση καυσίμου, ISOBUS, δίαυλος CAN

MAPPING SOFTWARE FOR TRACTOR'S FUEL CONSUMPTION

Zisis Tsiropoulos[1], Spyros Fountas[2], Ioannis Gravalos[3], Theofanis Gemtos[1], Augoustinos Augoustis[3], Dimitrios Kateris[4], Panagiotis Xyradakis[4], Vasileios Liakos[1]

[1]Agricultural Engineering Lab, Department of Agriculture Crop Production and Rural Environment, University of Thessaly, Fytokou Street, N. Ionia, GR-38446, Volos, Greece

[2]Agricultural Engineering Lab, Agricultural University of Athens, Iera Odos 75, GR-11855 Athens, Greece

[3]Department of Biosystems Engineering, School of Agricultural Technology, Technological Educational Institute of Larissa, GR-41110 Larissa, Greece

[4]Department of Hydraulics, Soil Science and Agricultural Engineering, School of Agriculture, Aristotle University, GR-54124 Thessaloniki, Greece

tsiropoulos@teilar.gr, sfountas@uth.gr, gravalos@teilar.gr, gemtos@agr.uth.gr, augoustis@teilar.gr, dkateris@agro.auth.gr, xyradakis@gmail.com, bill.406@hotmail.com

Due to the recent rises in fuel cost, producers search for ways to minimize cost and increase productivity. Modern agricultural tractors with the use of the electronic control unit (ECU) and the electronic speed governor can render the maximum torque in a very wide range of engine speeds. The method Gear-Up Throttle-Down (GUTD) is a method for operating a tractor with engine speed less than the nominal, which improves engine performance while maintaining the high load. Nevertheless, the correct application of the method GUTD requires great experience of the tractor operator.

Through protocols SAE J1939 (CAN Bus) and ISO 11783 (ISOBUS), which are used in the industry of agricultural engineering, its possible to obtain tractor's operating data. The ability to collect and monitor data performance of the tractor, can help in decision making and lead to lower fuel consumption.

Mapping software for tractor's fuel consumption was built using the C# programming language and is capable of recording and mapping the fuel consumption of an agricultural tractor in real time, through the protocols SAE J1939 and ISO 11783.

The results showed that fuel consumption reduction up to 40% can be achieved with the use of mapping software and the proper gear selection and engine speed.

Key words: mapping software, fuel consumption, ISOBUS, CAN Bus

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Με την ανάπτυξη των πρώτων μικροϋπολογιστών στις αρχές της δεκαετίας του 1980, έγιναν και οι πρώτες προσπάθειες για την καταγραφή των δεδομένων λειτουργίας των γεωργικών ελκυστήρων όπως η κατανάλωση καυσίμου, η ταχύτητα κινήσεως, η ροπή και η ολίσθηση (Harter & Kaufman, 1979; Grevis-James et al., 1983). Σήμερα, η λήψη των δεδομένων λειτουργίας των γεωργικών ελκυστήρων είναι δυνατή μέσω των πρωτόκολλων επικοινωνίας για τα γεωργικά μηχανήματα SAE J1939 (Society of Automotive Engineers, 1995) και ISO 11783 ή ISOBUS (International Organization for Standardization, 1997). Τα πρωτόκολλα αυτά έχουν εξέχουσα σημασία για την ανάπτυξη της γεωργίας ακριβείας, διότι επιτρέπουν την αποτελεσματική ανταλλαγή πληροφοριών και δεδομένων μεταξύ των αισθητήρων, των ελεγκτών και των πακέτων λογισμικού από διαφορετικούς κατασκευαστές για τον ίδιο ελκυστήρα (Stafford, 2000).

Με τις πρόσφατες αυξήσεις του κόστους των καυσίμων, οι παραγωγοί ψάχνουν τρόπους για την ελαχιστοποίηση του κόστους και την αύξηση της παραγωγικότητας. Η μέθοδος Gear-up throttle-down (GUTD), είναι μία μέθοδος λειτουργίας του γεωργικού ελκυστήρα με γωνιακή ταχύτητα του κινητήρα σε στροφές μικρότερες των ονομαστικών που βελτιώνει την απόδοση του κινητήρα, διατηρώντας υψηλό το φορτίο του με την γωνιακή ταχύτητα του κινητήρα να είναι στο 60 έως 80% των ονομαστικών στροφών (Grogan et al., 1987). Μελέτες έδειξαν ότι με την χρήση της μεθόδου GUTD μπορούσε να επιτευχθεί εξοικονόμηση καυσίμου ως και 20% (Schrock et al., 1982; Chancellor & Thai, 1984). Παρ' όλα αυτά, η ορθή εφαρμογή της μεθόδου GUTD απαιτεί μεγάλη εμπειρία από τον χειριστή του γεωργικού ελκυστήρα, έτσι ώστε να είναι ικανός να αντιληφτεί την ελάχιστη ζώνη κατανάλωσης καυσίμου για ένα συγκεκριμένο φορτίο, και να επιλέξει την κατάλληλη σχέση ώστε να διατηρηθεί υψηλός ο ρυθμός εργασίας (Mondal & Rao, 2005).

Με τη χρήση του ανάλογου λογισμικού, η τεράστια ποσότητα δεδομένων που δημιουργείται από τις αγροτικές δραστηριότητες μπορεί να διαχειριστεί αποτελεσματικά οδηγώντας στην λήψη καλύτερων αποφάσεων σε επίπεδο γεωργικής εκμετάλλευσης (Fountas et al., 2006). Η δυνατότητα παρακολούθησης, συλλογής και καταγραφής των δεδομένων λειτουργίας ενός γεωργικού ελκυστήρα, μπορεί να βοηθήσει στην λήψη αποφάσεων για την εξοικονόμηση καυσίμου.

Σκοπός της παρούσας μελέτης ήταν ο σχεδιασμός και η ανάπτυξη ενός λογισμικού ικανού να καταγράψει την κατανάλωση του καυσίμου και να δημιουργεί χωρικούς χάρτες κατανάλωσης, με στόχο την μείωση της κατανάλωσης καυσίμου.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1. Σχεδιασμός του λογισμικού

Το λογισμικό αποτελείται από 2 υποεφαρμογές: μία εφαρμογή για λειτουργικό σύστημα Windows, και μία διαδικτυακή εφαρμογή.

Έχει γραφτεί σε γλώσσα προγραμματισμού C# και διαθέτει 2 MS – SQL 2012 βάσεις δεδομένων, μία για την Windows εφαρμογή και μία για την διαδικτυακή εφαρμογή, οι οποίες συγχρονίζονται μεταξύ τους.

Η εφαρμογή για Windows έχει 4 βασικά εργαλεία. Αυτά είναι: ο καταγραφέας δεδομένων (data logger), στον οποίο καταγράφονται και αποθηκεύονται τα δεδομένα από τον γεωργικό ελκυστήρα και ένα εξωτερικό GPS, το εργαλείο χωρικής ανάλυσης (spatial analyst), στο οποίο δημιουργούνται οι χάρτες κατανάλωσης, το εργαλείο της στατιστικής ανάλυσης (statistics tools), στο οποίο μπορούν να προβληθούν τα δεδομένα με μορφή πινάκων και γραφημάτων, και το εργαλείο συγχρονισμού (synchronization tool) που είναι υπεύθυνο για τον συγχρονισμό μεταξύ των 2 βάσεων δεδομένων.

Η διαδικτυακή εφαρμογή έχει 3 βασικά εργαλεία. Αυτά είναι: το εργαλείο πληροφοριών αγροτεμαχίων, στο οποίο καταχωρούνται τα δεδομένα των αγροτεμαχίων, το εργαλείο προβολής των δεδομένων σε πραγματικό χρόνο (real time tool), και το εργαλείο της στατιστικής ανάλυσης (statistics tools) όπου μπορούν να προβληθούν τα δεδομένα με μορφή πινάκων και γραφημάτων.

2.2. Εξοπλισμός

Το λογισμικό λαμβάνει και επεξεργάζεται δεδομένα από τρεις διαφορετικές πηγές: Την ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου του γεωργικού ελκυστήρα (ECU) μέσω των πρωτόκολλων επικοινωνίας ISOBUS και CAN Bus τα οποία δίνουν τα δεδομένα λειτουργίας των γεωργικών ελκυστήρων και των παρελκόμενων μηχανημάτων τους, έναν δέκτη GPS και ένα δυναμόμετρο που χρησιμοποιείται για την μέτρηση των ασκούμενων δυνάμεων στα παρελκόμενα γεωργικά μηχανήματα.

Για τα πειράματα χρησιμοποιήθηκε γεωργικός ελκυστήρας Lamborghini R6.130 και τα δεδομένα που αντλούταν από την ECU ήταν: η ταχύτητα κινήσεως, η κατανάλωση καυσίμου, η γωνιακή ταχύτητα του κινητήρα, η ροπή και η ολίσθηση. Για την καταγραφή της γεωγραφικής θέσης χρησιμοποιήθηκε το DGPS Trimble AgGPS-252 Receiver, και για την μέτρηση των ασκούμενων δυνάμεων χρησιμοποιήθηκε δυναμόμετρο με 6 δυναμοκυψέλες, ικανό να μετρήσει τις δυνάμεις σε 3 διαστάσεις (Γέμτος & Τσιρίκογλου, 1995).

Τα δεδομένα των 3 αυτών πηγών μεταφέρονταν σε ένα Acer Aspire One 756-887BCkk notebook μέσω 3 θυρών USB με ρυθμό δειγματοληψίας 4Hz.

Το σύστημα δοκιμάστηκε κατά τη διάρκεια κατεργασίας εδάφους με βαρύ καλλιεργητή για την μελέτη της επίδραση της αντίστασης εδάφους στην κατανάλωση του καυσίμου.

2.3. Πειράματα υπαίθρου

Τα πειράματα διενεργήθηκαν σε αγροτεμάχιο 4 στρεμμάτων στο αγρόκτημα του Τ.Ε.Ι. Λάρισας. Το αγροτεμάχιο χωρίστηκε σε 12 υποτεμάχια μήκους 50m και πλάτους 3m. Σε κάθε υποτεμάχιο γινόταν τροποποίηση των διάφορων παραμέτρων λειτουργίας του γεωργικού ελκυστήρα. Αυτές ήταν τρεις διαφορετικές ταχύτητες κινήσεως (5, 7 και 9 km/h) και 2 διαφορετικές γωνιακές ταχύτητες του κινητήρα (1800 και 2200rpm) και παρουσιάζονται στο Πίνακα 1. Για κάθε ρύθμιση χρησιμοποιήθηκαν 2 υποτεμάχια για την επαλήθευση των δεδομένων. Οι γωνιακές ταχύτητες του κινητήρα επιλέχθηκαν με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε να έχουμε μία τιμή εντός και μία τιμή εκτός του ιδανικού 60-80% των μέγιστων στροφών που απαιτούνται για την βέλτιστη απόδοση του κινητήρα.

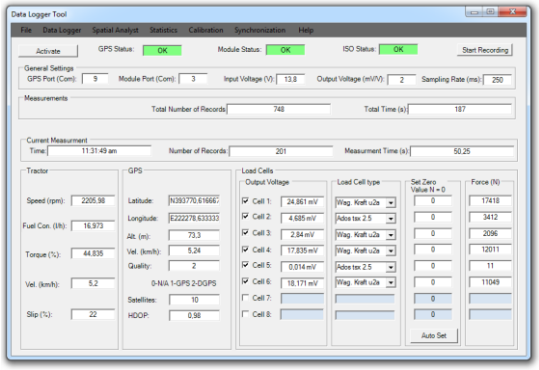
Πίνακας 1. Παράμετροι λειτουργίας γεωργικού ελκυστήρα για κάθε γεωργικό μηχάνημα.

Υποτεμάχιο	Στροφές Κινητήρα (rpm)	Ταχύτητα (km/h)
a	1800	5
b	1800	7
c	1800	9
d	2200	5
e	2200	7
f	2200	9

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

3.1. Λογισμικό

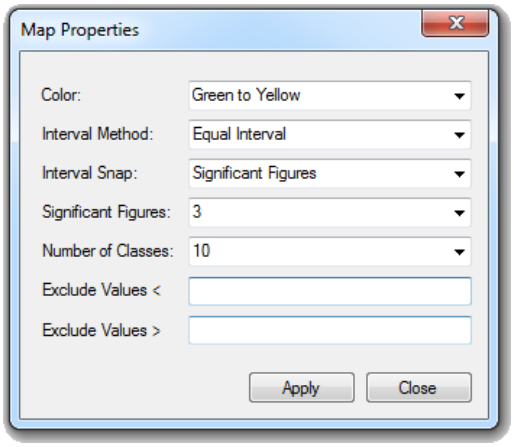
Η επικοινωνία μεταξύ του λογισμικού και των πηγών των δεδομένων γίνεται μέσω του καταγραφέα δεδομένων (Εικόνα 1). Στην αρχή ο χρήστης κάνει κάποιες βασικές ρυθμίσεις, όπως η ρύθμιση των θυρών επικοινωνίας μεταξύ του λογισμικού και των πηγών δεδομένων (COM ports) και του ρυθμού δειγματοληψίας.



Εικόνα 1. Εργαλείο καταγραφής δεδομένων.

Μετά τις βασικές ρυθμίσεις, το εργαλείο καταγραφής των δεδομένων προβάλει σε πραγματικό χρόνο τις τιμές όλων των παραμέτρων. Τα δεδομένα μπορούν να αποθηκευτούν στην τοπική βάση δεδομένων με την χρήση του κουμπιού «Έναρξη εγγραφής». Εάν υπάρχει διαθέσιμη σύνδεση με το διαδίκτυο και ο συγχρονισμός μεταξύ της εφαρμογής των Windows και της διαδικτυακής εφαρμογής είναι ενεργοποιημένος, τότε το εργαλείο καταγραφής των δεδομένων αποστέλλει τα δεδομένα εκτός από την τοπική βάση δεδομένων και στην διαδικτυακή βάση δεδομένων. Με τον τρόπο αυτό, τα δεδομένα μπορούν να προβληθούν σε πραγματικό χρόνο μέσω της διαδικτυακής εφαρμογής.

Το εργαλείο χωρικής ανάλυσης χρησιμοποιείται για την δημιουργία των χαρτών κατανάλωσης καυσίμου και χρησιμοποιεί την μέθοδο Inverse Distance Weighted (IDW), η οποία υπολογίζει τις τιμές των κελιών με το μέσο όρο των τιμών των στοιχείων του δείγματος σημείων στη περιοχή του κάθε κελιού επεξεργασίας. Οι προκαθορισμένες τιμές για την δημιουργία των χαρτών είναι p=2 και number of neighbours = 12 με τύπο ταξινόμησης ίσου διαστήματος (Equal Interval). Οι χρήστες του λογισμικού έχουν την δυνατότητα για αλλαγή των παραμέτρων δημιουργίας των χαρτών όπως της μεθόδου ταξινόμησης, των αριθμό των κλάσεων, των απορριπτόμενων τιμών, των χρωμάτων κτλ (Εικόνα 2).



Εικόνα 2. Ιδιότητες χαρτών.

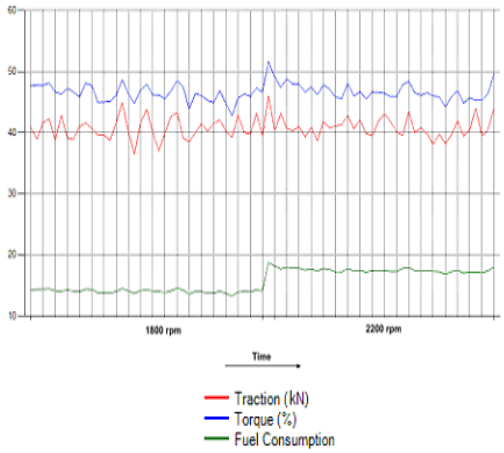
Το εργαλείο της στατιστικής ανάλυσης (και για τις 2 υποεφαρμογές) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την δημιουργία γραφημάτων και πινάκων από τα καταγεγραμμένα δεδομένα.

Το εργαλείο του συγχρονισμού χρησιμοποιείται για τον συγχρονισμό μεταξύ των 2 βάσεων δεδομένων του λογισμικού. Ο συγχρονισμός μπορεί να επιτευχθεί κατά την διάρκεια των γεωργικών εργασιών σε πραγματικό χρόνο, ή μετά την λήξη αυτών ώστε τα δεδομένα να είναι διαθέσιμα στο διαδίκτυο μέσω της διαδικτυακής υποεφαρμογής. Επιπρόσθετα μέσω του εργαλείου συγχρονισμού είναι δυνατό το ανέβασμα των χαρτών της κατανάλωσης καυσίμου στην διαδικτυακή εφαρμογή.

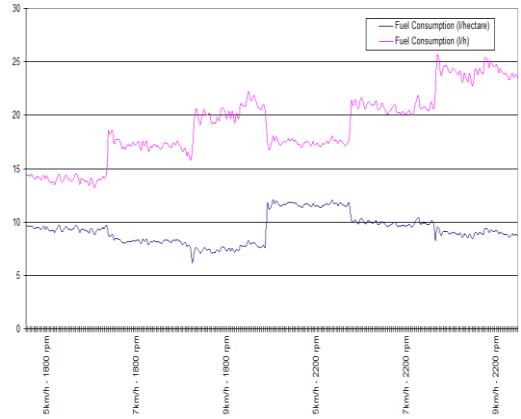
Όλα τα δεδομένα μπορούν να εξαχθούν σε διάφορες μορφές αρχείων, όπως μορφή πλέγματος (π.χ. GeoTIFF, IMG), διανυσματική μορφή (π.χ. Shape files, AutoCAD DXF), μορφή εικόνας (π.χ. BMP, JPG), μορφή πίνακα δεδομένων (π.χ. XLS, CSV) κλπ για περαιτέρω επεξεργασία.

3.2. Αποτελέσματα πειραμάτων

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η κατανάλωση του καυσίμου και η ροπή συσχετίζονται με την γωνιακή ταχύτητα του κινητήρα και την ταχύτητα κινήσεως του ελκυστήρα. Η κατανάλωση καυσίμου είναι 20% μεγαλύτερη στις 2200 στροφές το λεπτό σε σχέση με τις 1800 στροφές το λεπτό σε όλες τις ταχύτητες κινήσεως, και 25% μεγαλύτερη στα 5km/h σε σχέση με τα 9km/h και στις 2 γωνιακές ταχύτητες. Η Εικόνα 3 δείχνει την ροπή, την κατανάλωση και την ελκτική δύναμη σε ταχύτητα 5km/h σε 2 διαφορετικές γωνιακές ταχύτητες (1800 και 2200rpm), ενώ η Εικόνα 4 δείχνει την κατανάλωση καυσίμου σε λίτρα ανά εκτάριο (l/ha) και λίτρα ανά ώρα (l/h) για διαφορετικές ταχύτητες κινήσεως (5 - 7 – 9km/h) και διαφορετικές γωνιακές ταχύτητες (1800 και 2200rpm).

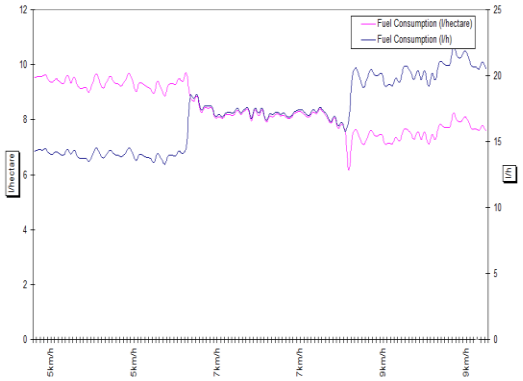


Εικόνα 3. Κατανάλωση καυσίμου, ροπή και έλξη σε ταχύτητα 5km/h και γωνιακή ταχύτητα 1800 και 2200rpm.

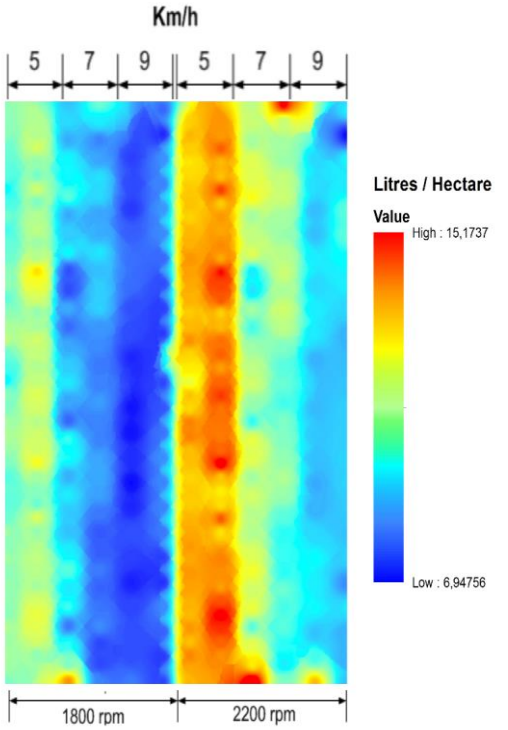


Εικόνα 4. Κατανάλωση καυσίμου σε διαφορετικές ταχύτητες κινήσεως (5 - 7 – 9km/h) και διαφορετικές γωνιακές ταχύτητες (1800 και 2200rpm).

Η Εικόνα 5 απεικονίζει την κατανάλωση του καυσίμου στις 1800 στροφές το λεπτό σε διαφορετικές ταχύτητες κινήσεως (5 - 7 – 9km/h), και η Εικόνα 6 απεικονίζει τον χωρικό χάρτη με τη κατανάλωση καυσίμου στα 12 υποτεμάχια του πειράματος σε λίτρα ανά εκτάριο (l/ha) για διαφορετικές ταχύτητες κινήσεως (5 - 7 – 9km/h) και διαφορετικές γωνιακές ταχύτητες (1800 και 2200rpm).



Εικόνα 5. Κατανάλωση καυσίμου (l/ha και l/h) στις 1800 στροφές το λεπτό σε διαφορετικές ταχύτητες κινήσεως (5 - 7 – 9km/h).



Εικόνα 6. Κατανάλωση καυσίμου σε λίτρα ανά εκτάριο (l/ha) για διαφορετικές ταχύτητες κινήσεως (5 - 7 – 9km/h) και διαφορετικές γωνιακές ταχύτητες (1800 και 2200rpm).

4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Η σημερινή τεχνολογία στην βιομηχανία των γεωργικών μηχανημάτων προσφέρει ένα τεράστιο αριθμό εργαλείων και δυνατοτήτων. Η εκτεταμένη χρήση των αισθητήρων και οι ηλεκτρονικές μονάδες ελέγχου είναι μέρος σχεδόν κάθε νέου γεωργικού μηχανήματος, και η χρήση των πρωτόκολλων επικοινωνίας όπως τα SAE J1939 (CAN Bus) και ISO 11783 (ISOBUS), δίνουν την δυνατότητα παρακολούθησης και συλλογής των δεδομένων λειτουργίας των γεωργικών μηχανημάτων. Αυτό, μπορεί να οδηγήσει σε σωστότερη λήψη

αποφάσεων και στην μείωση της κατανάλωσης καυσίμου.

Το συνολικό κόστος του συστήματος ήταν 350€ (GPS 50€, notebook 300€), ενώ με την προσθήκη του δυναμόμετρου το κόστος φτάνει τα 1500€, και εξαρτάται από το κόστος των επιλεγμένων εξαρτημάτων.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα αποτελέσματα των δοκιμών έδειξαν ότι υπάρχει μεγάλη συσχέτιση μεταξύ της ροπής, της κατανάλωσης και της ελκτικής δύναμης, και ότι μπορεί να επιτευχθεί μείωση της κατανάλωσης του καυσίμου έως 40% με την επιλογή της κατάλληλης ταχύτητας κινήσεως του ελκυστήρα και της κατάλληλης γωνιακής ταχύτητας του κινητήρα. Η επιλογή της μέγιστης ταχύτητας κινήσεως για την εκτέλεση της εργασίας πρέπει να πραγματοποιείται με μεγάλη προσοχή, ώστε το παρελκόμενο γεωργικό μηχάνημα να παράγει το αναμενόμενο έργο. Δοκιμές που έγιναν πριν το πείραμα, έδειξαν ότι με τον βαρύ καλλιεργητή ο οποίος χρησιμοποιήθηκε, η μέγιστη ταχύτητα που μπορούσε να εκτελεστεί με επιτυχία η εργασία ήταν τα 9km/h, καθώς σε ταχύτητες άνω των 9km/h καταγράφτηκαν στο δυναμόμετρο πολλές αναπηδήσεις με αποτέλεσμα ο καλλιεργητής να μην φτάνει στο επιθυμητό βάθος, και να μην παράγεται το αναμενόμενο έργο.

Νέα πειράματα με περισσότερες παραμέτρους λειτουργίας πραγματοποιούνται ήδη για ακόμη μεγαλύτερη ανάλυση των δεδομένων και των αποτελεσμάτων.

Το λογισμικό χαρτογράφησης της κατανάλωσης καυσίμου γεωργικού ελκυστήρα πρόκειται να αναπτυχθεί περαιτέρω, προσθέτοντας νέες δυνατότητες και νέες πληροφορίες για τη λειτουργία του συστήματος ελκυστήρας – παρελκόμενο έτσι ώστε να δημιουργηθεί ένα ολοκληρωμένο σύστημα το οποίο θα παρέχει χρήσιμες πληροφορίες και χωρικούς χάρτες στους παραγωγούς για την καλύτερη διαχείριση του γεωργικού τους εξοπλισμού και την βελτιστοποίηση των γεωργικών εργασιών.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Περιοδικά

Chancellor, W.J. and Thai, N.C., 1984. Automatic control of tractor transmission ratio and engine speed. Transactions of the ASABE, 27(3):642-646

Fountas, S., Wulfsohn, D., Blackmore, S., Jacobsen, H. L., Pedersen, S.M., 2006. A model of decision making and information flows for information-intensive agriculture. Agricultural Systems, 87:192-210

Γέμτος Θ.Α., Τσιρίκογλου Θ., 1995. Ο Σχεδιασμός και η Διαμόρφωση ενός Γεωργικού Ελκυστήρα για Μέτρηση και Καταγραφή των Αναπτυσσόμενων Δυνάμεων σε Αναρτόμενα Παρελκόμενα στον Χώρο. Γεωτεχνικά Επιστημονικά Θέματα 4:89-96

Grevis-James, I.W, DeVoe, D.R., Bloome, P.D., Batchelder, D.G., Lambert, B.W., 1983. Microcomputer-based data acquisition for tractors. Transactions of the ASABE, 26(3):692-695

Grogan, J.D., Moris, A., Searcy, S.W., Stout, B.A., 1987. Microcomputer based tractor performance monitoring and optimization system. Journal of Agricultural Engineering Research, 38:227–243

Harter, D. D., Kaufman, K. R., 1979 Microprocessor based data acquisition system for tractor tillage measurements. Paper No. 79-5026, ASAE, St Joseph, MI, USA.

Mondal, P., Rao, P.N., 2005. Digital throttle gear optimizer for better fuel economy of tractors. SAE paper no 2005-26-066.

Schrock, M.D., Matteson, D.K. and Thompson, J.G., 1982. A gear selection aid for agricultural tractors. Paper 82-5515, ASAE, St Joseph, MI, USA.

Sørensen, G.C., Fountas, S., Nash, E., Pesonen, L., Bochtis, D., Pedersen, S.M., Basso, B., Blackmore, S.B., 2010. Conceptual model of a future farm management information system. Computers and Electronics in Agriculture, 72:37–47

Stafford, J.V., 2000. Implementing Precision Agriculture in the 21st Century. Journal of Agricultural Engineering Research, 76:267–275

Κεφάλαια βιβλίων

International Organization for Standardization (ISO), 1997. Tractors, machinery for agriculture and forestry – Serial control and communications data network, parts 1 to 5

Society of Automotive Engineers (SAE), 1995. Surface Vehicle Recommended Practice J1939-7x

ΜΟΝΤΕΛΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΤΟΥ ΧΡΟΝΟΥ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΩΝ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΩΝ ΠΟΥ ΕΜΠΛΕΚΟΝΤΑΙ ΣΤΗ ΣΥΓΚΟΜΙΔΗ ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΩΝ ΒΑΜΒΑΚΙΟΥ

Ντογκούλης Παναγιώτης[1], Μπόχτης Διονύσης[2],Νάκας Χρήστος[1], Φουντάς Σπύρος[1], Γέμτος Θεοφάνης[1]
[1]Πανεπιστημιο Θεσσαλίας, Τμήμα Φυτικής Παραγωγής & Αγροτικού Περιβάλλοντος, Αργοναυτών και Φιλελλήνων, Βόλος, Μαγνησία, Ελλάδα
[2]University of Aarhus, Faculty of Science and Technology, Department of Engineering, Blichers Allé 20, 8830 Tjele, Denmark

Στη έρευνα για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας για την αντικατάσταση των ορυκτών καυσίμων δίνεται μεγάλη σημασία στη βιομάζα. Η βιομάζα είναι μία ανανεώσιμη πηγή ενέργειας με αυξάνουσα σημαντικότητα. Στον αγροτικό τομέα σημαντικές ποσότητες βιομάζας προέρχονται από τα υπολείμματα καλλιεργειών. Το κύριο πρόβλημα είναι το κόστος της διαχείρισης και της συλλογής τους. Σε αυτή την εργασία μελετήθηκε η συγκομιδή υπολειμμάτων βάμβακος και δημιουργήθηκαν μοντέλα για την πρόβλεψη του χρόνου λειτουργίας των μηχανημάτων που εμπλέκονται στη συγκομιδή των υπολειμμάτων. Με την χρήση δεκτών GPS που τοποθετήθηκαν στους ελκυστήρες, που χρησιμοποιήθηκαν σε κάθε μία από της εργασίες, καταγράφηκαν τα επιχειρησιακά στοιχεία για κάθε μία από της εργασίες συλλογής για 41 αγροτεμάχια. Στη συνέχεια με την χρήση του εργαλείου regression analysis του SPSS 20.0 (SPSS Inc., Chicag, IL), προσδιορίστηκαν μοντέλα για την πρόβλεψη του χρόνου λειτουργίας των μηχανημάτων σε κάθε αγροτεμάχιο. Συγκεκριμένα, ο χρόνος λειτουργίας των μηχανημάτων προβλέπεται με στοιχεία όπως το εμβαδό, η πολυπλοκότητα του σχήματος του αγροτεμαχίου, η παραγωγή του αγροτεμαχίου και ο αριθμός δεμάτων ανά στρέμμα.
Λέξεις κλειδιά: βιομάζα, εφοδιαστική αλυσίδα, βιο-ενέργεια, logistics, υπολείμματα βαμβακιού

Field Time Prediction Models of Machinery in the Cotton Residues Harvesting for Energy Purposes

Ntogkoulis P.A[1]; Bochtis D.D[2]; Nakas Ch.T.[1] Fountas S[1]; Gemtos T.A[1]
1) University of Thessaly, Department of Agriculture Crop Production and Rural Environment, Argonauton & Filillinon,38221,Volos,Greece;
2)University of Aarhus, Faculty of Science and Technology, Department of Engineering, Blichers Allé 20, 8830 Tjele, Denmark;
pdogou@gmail.com, dionysis.bochtis@agrsci.dk, cnakas@uth.gr, sfountas@uth.gr, gemtos@agr.uth.gr

In the research of the alternative energy sources to replace fossil fuels, considerable attention focuses on biomass. Biomass is a renewable energy source with increasing importance. Crop residues are significant energy sources which can be used to produce energy. The main problem in crop residues handling is the cost of residues harvesting. Harvesting logistics counts for the largest part of the total cost of the process. In this study, cotton crop residues harvesting is described and a field time prediction model was created for the machines involved in the process. The movement of the machinery was monitored by GPS receivers placed on the tractor. Data from 41 fields was collected. The prediction models were created using with the regression analysis on SPSS 20.0 (SPSS Inc., Chicag, IL).The results showed that the field time of the machinery which was used in cotton residue harvesting can be predicted according to parameters as the area of the field, the shape of the field, the yield of the cotton fiber and the number of the bales of the cotton residue per surface unit.

Key words: biomass, supply chain management, bio-energy, logistics, cotton residues

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ραγδαία χρήση των ορυκτών καυσίμων κατά την διάρκεια του 20ου αιώνα, σημαδεύτηκε από την επιβάρυνση του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος. Κύριος λόγος για τις επιπτώσεις στο ατμοσφαιρικό περιβάλλον είναι η υψηλή συγκέντρωση CO_2 στην ατμόσφαιρα που προέρχεται από την καύση των ορυκτών καυσίμων (McKendry, 2002). Τις προηγούμενες δεκαετίες υπήρξε ένα παγκόσμιο ενδιαφέρον για την μείωση της συγκέντρωση του CO_2 στην ατμόσφαιρα, και προτάθηκε η αντικατάσταση των ορυκτών καυσίμων με εναλλακτικές πήγες ενεργείας.

Μια πηγή εναλλακτικής ενέργειας είναι η βιομάζα (Voivontas, 2001). Η βιομάζα είναι ένα καύσιμο με μηδενικό ισοζύγιο έκλυσης CO_2 και αποτελεί λύση για την μείωση της συγκέντρωσης του CO_2 στην ατμόσφαιρα (Gemtos and Tsiricoglou, 1999). Η βιομάζα που προέρχεται από την αγροτική παραγωγή διακρίνεται στα προϊόντα των ενεργειακών καλλιεργειών, όπως π.χ σπόροι ελαιοκράμβης, και στα παραπροϊόντα των καλλιεργειών όπως τα υπολείμματα, που είναι ότι απομένει στο χωράφι μετά την συγκομιδή του κύριου προϊόντος.

Τα υπολείμματα είναι μία ανανεώσιμη πηγή ενέργειας που μπορούν κυρίως με την μέθοδο της καύσης να χρησιμοποιηθούν και να ανακτηθεί περιεχόμενη σε αυτά ενέργεια(Sumner, 1984).

Σε προηγούμενες εργασίες διαπιστώθηκε ότι η διαχείριση των υπολειμμάτων, δηλαδή η συγκομιδή και η μεταφορά είναι το κλειδί για το αν η χρήση για ενεργειακούς σκοπούς είναι συμφέρουσα ή όχι (Liu et al, 2013). Δυστυχώς, έχει διαπιστωθεί ότι η

συγκομιδή και η διαχείριση των υπολειμμάτων βασίζεται κυρίως στη εμπειρία του παραγωγού-εργολάβου που αναλαμβάνει την συγκομιδή. Στην αγροτική παραγωγή δεν υπάρχει συνήθης πρακτική για τη λήψη αποφάσεων βάσει ορθολογικών μεθόδων, βασισμένη σε εργαλεία αντίστοιχα με αυτά που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία με αποτέλεσμα να γίνονται λάθη στη διαχείριση που οδηγούν στην αύξηση του κόστους (Bochtis and Sørensen, 2009;Bochtis and Sørensen et al. 2010). Η εφαρμογή και η ανάπτυξη συστημάτων λήψης αποφάσεων για την μείωση του κόστους κρίνεται επιβεβλημένη (Bochtis, 2010).

Σε αύτη την εργασία μελετήθηκε η διαδικασία της συγκομιδής του υπολείμματος καλλιέργειας βαμβακιού.

Στην Ελλάδα έγιναν πειράματα σε αγρούς και προσδιορίστηκαν στοιχεία για τα υπολείμματα βάμβακος που παραμένουν στο χωράφι καθώς και τη διαθεσιμότητα των υπολειμμάτων αυτών. Έτσι πειραματικά δεδομένα έδειξαν ότι το υπόλειμμα από στελέχη βάμβακος κυμαίνεται από 210,7 kg έως 336,6 kg, και η διαθεσιμότητα είναι 60%(Gemtos, 1992; Gemtos and Tsiricoglou, 1999).

Η συγκομιδή των υπολειμμάτων βάμβακος από τον αγρό είναι όμοια με τη συγκομιδή χόρτου και διεκπεραιώνεται σε τέσσερις διαδικασίες. Η πρώτη διαδικασία είναι η κοπή του υπολείμματος, η οποία διεκπεραιώνεται από ένα χορτοκοπτικό μηχάνημα. Την διαδικασία της κοπής, ακολουθεί η διαδικασία της χορτοσυλλογής. Η εργασία της χορτοσυλλογής διεκπεραιώνεται από έναν χορτοσυλλέκτη. Η αμέσως επόμενη εργασία είναι η δεματοποίηση του υπολείμματος. Η εργασία αυτή διαπεραιώνεται από μία πρέσα κυλινδρικών δεμάτων. Τελευταία διαδικασία είναι η φόρτωση των δεμάτων από το χωράφι. Η διαδικασία αυτή διεκπεραιώνεται με έναν ελκυστήρα που στο πρόσθιο υδραυλικό σύστημα τοποθετείται ένα περονοφόρο σύστημα φόρτωσης.

Για τις παραπάνω εργασίες δημιουργήθηκαν μοντέλα πρόβλεψης για το χρόνο λειτουργίας των επιμέρους μηχανημάτων που εμπλέκονται στη συγκομιδή. Αυτή η διαδικασία είναι το πρώτο στάδιο για την ανάπτυξη συστήματος λήψης αποφάσεων για την μείωση του χρόνου λειτουργίας του στόλου της συγκομιδής του υπολείμματος. Η πρόβλεψη του χρόνου λειτουργίας των μηχανημάτων στην εργασία μελετήθηκε σε σχέση με σταθερές παραμέτρους που αφορούν στον αγρό και το υπόλειμμα της καλλιέργειας (σχήμα, επιφάνεια, παραγωγή ίνας βάμβακος και αριθμός δεμάτων υπολείμματος).

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1. Πείραμα

Το πείραμα συλλογής υπολειμμάτων βάμβακος διεξήχθη στην περιοχή της Θεσσαλίας κατά το μήνα Νοέμβριο, αφού όπως είναι γνωστό το βαμβάκι συλλέγεται κατά το μήνα Οκτώβριο. Συλλέχτηκαν στοιχεία από 41 αγροτεμάχια.

2.3. Καταγραφή των στοιχείων.

Η καταγραφή των κινήσεων όλου του στόλου των μηχανημάτων έγινε με την χρήση δεκτών GPS. Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκαν GPS Blumax Bluetooth GPS-4044 Datalogger (Eurotronic Products GmbH, Dortmund. Η παρακολούθηση της εργασίας έγινε για χρονικό διάστημα ενός μήνα. Η συχνότητα λήψης μετρήσεων ήταν 0,5Hz (μέτρηση ανά 2s). Τα αποτελέσματα που καταγράφονται στους δέκτες ανακτώνται για επεξεργασία σε MS Excel (Microsoft Corp., Redmond, WA).

2.4. Μετρήσεις

2.4.1. Προσδιορισμός του χρόνου εργασίας του μηχανήματος.

Ως συνολικός χρόνος εργασίας του μηχανήματος στο χωράφι ορίζεται ο χρόνος από την είσοδο του μηχανήματος στο αγροτεμάχιο μέχρι την έξοδο.

Ο συνολικός χρόνος εργασίας του κάθε μηχανήματος προσδιορίστηκε με την χρήση των δεκτών GPS και υπολογίστηκε ως το γινόμενο του συνόλου των σημείων από το σημείο εισόδου του μηχανήματος στο αγροτεμάχιο μέχρι το σημείο εξόδου, επί την συχνότητα λήψης μετρήσεων (2 s).

2.4.2. Προσδιορισμός αριθμού δεμάτων.

Ο προσδιορισμός του αριθμού των δεμάτων στο πείραμα έγινε με τη χρήση δεκτών GPS. Συγκεκριμένα, μετά τη διαδικασία της δεματοποίησης με ένα δέκτη GPS γινόταν ο προσδιορισμός της θέσης κάθε δέματος στο αγροτεμάχιο συνεπώς προέκυπτε και ο συνολικός αριθμός των δεμάτων στο αγροτεμάχιο.

2.4.3. Προσδιορισμός εμβαδού επιφάνειας και περιμέτρου του σχήματος του αγροτεμαχίου

Οι συντεταγμένες των κορυφών του σχήματος του αγροτεμαχίου για τον προσδιορισμό της επιφάνειας και της περιμέτρου του αγροτεμαχίου προσδιορίστηκε με δέκτες GPS.

Η περίμετρος του αγροτεμαχίου προσδιορίστηκε με αλγόριθμο που αναπτύχθηκε σε Matlab er. 2012a (Mathworks Inc., Natick, MA). Ως δεδομένα στον αλγόριθμο δίνονταν οι συντεταγμένες των κορυφών του αγροτεμαχίου και ως αποτέλεσμα η περίμετρος του αγροτεμαχίου.

Η επιφάνεια του αγροτεμαχίου προσδιορίστηκε με αλγόριθμο που αναπτύχθηκε σε Matlab er. 2012a (Mathworks Inc., Natick, MA). Ως δεδομένα στον αλγόριθμο χρησιμοποιήθηκαν οι συντεταγμένες των κορυφών του αγρού και αποτέλεσμα ήταν το εμβαδό της επιφάνειας του αγρού.

2.4.4. Προσδιορισμός πολυπλοκότητας σχήματος του αγρού

Για τον προσδιορισμό της πολυπλοκότητας ενός σχήματος πρέπει να ορισθεί η έννοια της κυρτότητας, του κυρτού περιβλήματος (convexhull) ενός σχήματος του αγροτεμαχίου και του πίνακα συνδιακύμανσης των τιμών των κορυφών του σχήματος του αγροτεμαχίου.

Κυρτό είναι ένα σχήμα αγροτεμαχίου που όλες οι γωνίες του είναι μικρότερες από 180°.

Κυρτό περίβλημα (convexhull) ενός σχήματος αγροτεμαχίου είναι το ελάχιστο σύνολο σημείων που περιβάλλει ένα μη κυρτό σχήμα αγροτεμαχίου.

Όσον αφορά τον πίνακα συνδιακύμανσης, έστω ότι (X,Y) είναι οι συντεταγμένες μιας κορυφής του σχήματος του αγροτεμαχίου. Τότε, ο πίνακας των τιμών των συντεταγμένων π.χ. για ένα τετράγωνο αγροτεμάχιο θα είναι:

$$\Pi = \begin{bmatrix} X1 & Y1 \\ X2 & Y2 \\ X3 & Y3 \\ X4 & Y4 \end{bmatrix}$$

Ο πίνακας συνδιακύμανσης είναι ένας πίνακας 2X2 που στην κύρια διαγώνιο έχει ως στοιχεία την διακύμανση των μεταβλητών X,Y και στις άλλες θέσεις του πίνακα την συνδιακύμανση μεταξύ κάθε ζεύγους μεταβλητών. Ο πίνακας συνδιακύμανσης υπολογίστηκε με αλγόριθμο που είναι διαθέσιμος στο Matlab er. 2012a (Mathworks Inc., Natick, MA). Για τον προσδιορισμό της πολυπλοκότητας του σχήματος προσδιοριστήκαν οι παρακάτω συντελεστές: α) συντελεστής κυρτότητας β) συντελεστής αναλογίας των κυρίων αξόνων γ) συντελεστής του συμπαγούς του σχήματος του αγροτεμαχίου δ) συντελεστής πολυπλοκότητας του Brinkkoff. Στον παρακάτω πίνακα προσδιορίζονται τα σύμβολα που χρησιμοποιήθηκαν για να γίνουν κατανοητοί οι μαθηματικοί τύποι των συντελεστών.

Πίνακας 1. Ορισμοί συμβόλων των τύπων πολυπλοκότητας του σχήματος του αγροτεμαχίου

Pconvexhull	Η περίμετρος του σχήματος convexhull του αγροτεμαχίου.
P	Η περίμετρος του σχήματος.
X,Y	Συντεταγμένες των κορυφών του περιγράμματος του αγροτεμαχίου.
A	εμβαδό σχήματος αγροτεμαχίου.
N	γωνίες του σχήματος του αγροτεμαχίου που είναι >180º
V	αριθμός των γωνιών ενός σχήματος αγροτεμαχίου.
Aconvexhull	Το εμβαδό του σχήματος convexhull του αγροτεμαχίου.

Συντελεστής κυρτότητας είναι η αναλογία της περιμέτρου του convexhull σχήματος προς την πραγματική περίμετρο του αγροτεμαχίου.

$$conv = \frac{Pconvexhull}{P}$$

Οι κύριοι άξονες ενός σχήματος είναι οι άξονες που διασταυρώνονται στο κέντρο βάρους ορθογώνια (Peura et al., 1997). Το μήκος των κυρίων αξόνων δίνεται από τον πίνακα διακύμανσης των τιμών των κορυφών του σχήματος.

Ο πίνακας διακύμανσης των κορυφών του περιγράμματος του αγροτεμάχιου είναι:

$$C = \begin{bmatrix} Cxx & Cxy \\ Cyx & Cyy \end{bmatrix}$$

Η αναλογία των κυρίων αξόνων μπορεί να υπολογιστεί από την σχέση:

$$prax = \frac{Cyy + Cxx - \sqrt{(Cyy + Cxx)^2 - 4 * (CxxCyy - Cxy^2)}}{Cyy + Cxx + \sqrt{(Cyy + Cxx)^2 - 4 * (CxxCyy - Cxy^2)}}$$

Το συμπαγές ενός αγροτεμαχίου ορίζεται ως η αναλογία του τετραγώνου της περιμέτρου του σχήματος προς το εμβαδό του σχήματος (Peura et al., 1997).

$$comp = \frac{P^2 / A}{4\pi}$$

Επίσης, ο συντελεστής πολυπλοκότητας του σχήματος είναι ο λόγος του εμβαδού προς το τετράγωνο της περιμέτρου (Gonzales et al, 2007; Amiama et al, 2008).

$$SI = \frac{A}{P^2}$$

Τέλος, ένας άλλος συντελεστής για να περιγράψει την πολυπλοκότητα ενός πολυγώνου είναι ο συντελεστής CI που αναπτύχτηκε από τους Brinkkoff et al.(2007).

$$CI = 0.8Feq * Amp + Dev$$

και βασίζεται στη σύνθεση τριών άλλων περιγραφικών παραγόντων σχήματος για ένα πολύγωνο.

- Την συχνότητα των κοίλων περιοχών ενός σχήματος

$$Feq = 16 * (Nnorm - 0.5)^4 - 8(Nnorm - 0.5)^2 + 1$$

$$Nnorm = \frac{N}{V - 3}$$

- Την απόκλιση του πολυγώνου από το convexhull πολύγωνο

$$Dev = \frac{A - Aconvexhull}{A}$$

- Το πλάτος των κοίλων περιοχών.

$$Amp = \frac{P - Pconvexhull}{P}$$

Ο προσδιορισμός των συντελεστών για την πολυπλοκότητα του σχήματος του αγροτεμαχίου υπολογίστηκε με αλγόριθμο ο οποίος αναπτύχθηκε σε Matlab er. 2012a (Mathworks Inc., Natick, MA). Ως δεδομένα στον αλγόριθμο χρησιμοποιήθηκαν οι συντεταγμένες των κορυφών του αγροτεμαχίου και αποτέλεσμα ήταν οι τιμές των συντελεστών πολυπλοκότητας του σχήματος.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Για τον προσδιορισμό των μοντέλων πρόβλεψης του χρόνου λειτουργίας για τα μηχανήματα που εμπλέκονται στη συγκομιδή του υπολείμματος καθώς και για τον αριθμό των δεμάτων του υπολείμματος χρησιμοποιήθηκαν διαδικασίες ανάλυσης συσχέτισης (regression analysis) του στατιστικού πακέτου SPSS 20.0 (SPSS Inc., Chicag, IL). Αφού προσδιορίστηκε το μοντέλο, εξετάστηκε η σχέση του χρόνου λειτουργίας για κάθε περίπτωση μηχανήματος, αν είναι γραμμική με κάθε έναν από τους συντελεστές που συμμετέχουν στο μοντέλο.

3.1. Μοντέλο χρόνου λειτουργίας χορτοκοπτικού

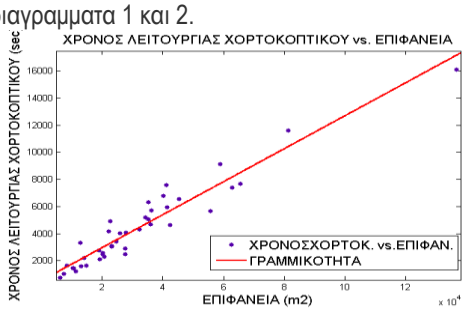
Για τον προσδιορισμό μοντέλου πρόβλεψης του συνολικού χρόνου λειτουργίας του χορτοκοπτικού σε ένα αγροτεμάχιο εισήχθησαν σε ένα πολυμεταβλητό μοντέλο ως ανεξάρτητες μεταβλητές η παραγωγή ίνας (yield), ο SI, ο conv, ο comp, ο CI και ο prax και ο συνολικός χρόνος λειτουργίας του χορτοκοπτικού σε κάθε χωράφι από τα πειραματικά δεδομένα ως εξαρτημένη μεταβλητή.

Το μοντέλο που πρόεκυψε από την διαδικασία της regression analysis είναι:

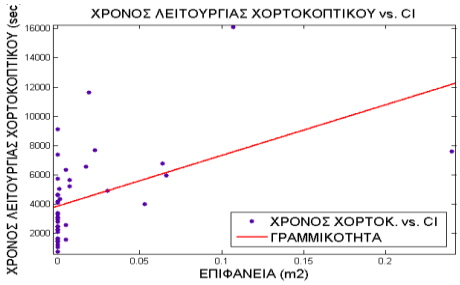
Field Time Mower = 0.115 * area + 9381.656 *CI + 581.667

Το μοντέλο βαθμονομήθηκε και οι προσομοιωμένες τιμές από τις πραγματικές παρουσιάζουν μία απόκλιση 7%.

Η απεικόνιση της γραμμικής συσχέτισης του χρόνου λειτουργίας με την επιφάνεια και του χρόνου λειτουργίας με το συντελεστή CI δίνεται στα διαγραμματα 1 και 2.



Διάγραμμα 1. Χρόνος λειτουργίας χορτοκοπτικού vs. Επιφάνεια Αγροτεμαχίου



Διάγραμμα 2.Χρόνος λειτουργίας χορτοκοπτικού vs. CI

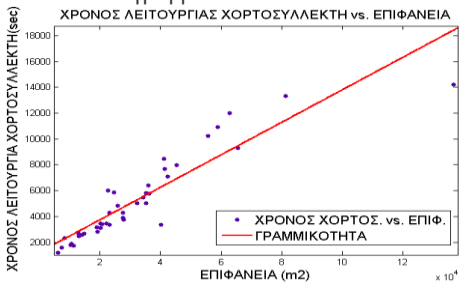
3.2. Μοντέλο χρόνου λειτουργίας χορτοσυλλέκτη

Για το συνολικό χρόνο λειτουργίας του χορτοσυλλέκτη εισήχθησαν σε ένα πολυμεταβλητό μοντέλο ως ανεξάρτητες μεταβλητές η παραγωγή ίνας (yield), ο SI ,ο conv, ο comp, ο CI και ο prax και ο χρόνος ως εξαρτημένη μεταβλητή.

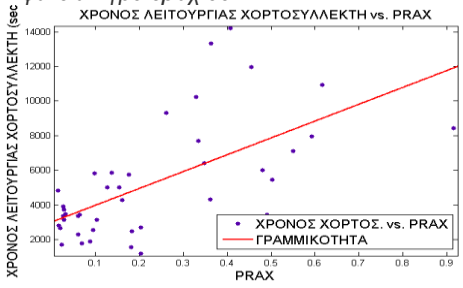
Το μοντέλο που πρόεκυψε από την διαδικασία της regression analysis είναι:

FieldTimeRake=0.110*area+3980.44*prax+809.84.

Το μοντέλο βαθμονομήθηκε και οι προσομοιωμένες τιμές από τις πραγματικές παρουσιάζουν μία απόκλιση 6%. Η απεικόνιση της γραμμικής συσχέτισης του χρόνου λειτουργίας του χορτοσυλλέκτη με το εμβαδό της επιφάνειας του αγροτεμαχίου και του χρόνου λειτουργίας του χορτοσυλλέκτη με το συντελεστή του σχήματος prax δίνεται στα διαγράμματα 3 και 4.



Διάγραμμα 3. Χρόνος λειτουργίας χορτοσυλλέκτη vs. Επιφάνεια Αγροτεμαχίου



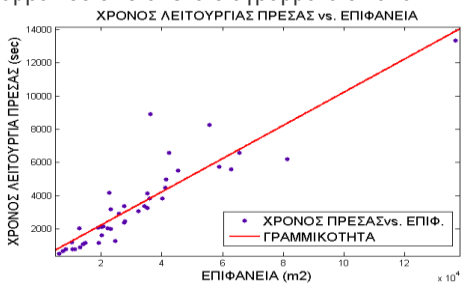
Διάγραμμα 4. Χρόνος λειτουργίας χορτοσυλλέκτη vs. prax

3.3. Μοντέλο χρόνου λειτουργίας πρέσας

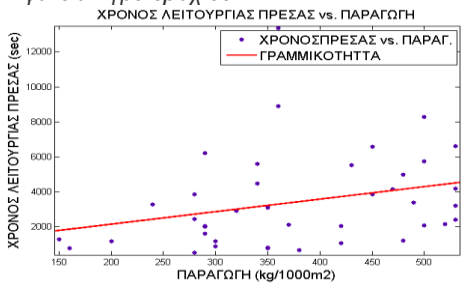
Για τον προσδιορισμό μοντέλου για το χρόνο λειτουργίας της πρέσας κυλινδρικών δεμάτων εισήχθησαν σε πολυμεταβλητό μοντέλο οι συντελεστές παραγωγή (yield), ο SI, ο conv, ο comp, ο CI και ο prax. Το μοντέλο για τον προσδιορισμό του χρόνου λειτουργίας είναι:

Field Time Baler = 0.097 * area + 4.645 * yield - 1447.2

Το μοντέλο βαθμονομήθηκε και οι προσομοιωμένες τιμές από τις πραγματικές παρουσιάζουν μία απόκλιση 8%.Η απεικόνιση της γραμμικής συσχέτισης του χρόνου λειτουργίας της πρέσας κυλινδρικών δεμάτων με την επιφάνεια του αγροτεμαχίου και με την παραγωγή της ίνας του βαμβακιού δίνεται στα διαγράμματα 5 και 6.



Διάγραμμα 5. Χρόνος λειτουργίας πρέσας vs. Επιφάνεια Αγροτεμαχίου



Διάγραμμα 6. Χρόνος λειτουργίας πρέσας vs. Παραγωγή ίνας

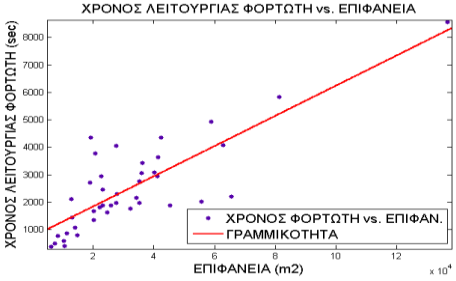
3.4. Μοντέλο χρόνου λειτουργίας φορτωτή δεμάτων

Για τον προσδιορισμό του χρόνου λειτουργίας του φορτωτή εισήχθησαν στο πολυμεταβλητό μοντέλο οι συντελεστές παραγωγή (yield), ο SI, ο conv, ο comp, ο CI και ο prax και ο αριθμός των δεμάτων ανά στρέμμα.

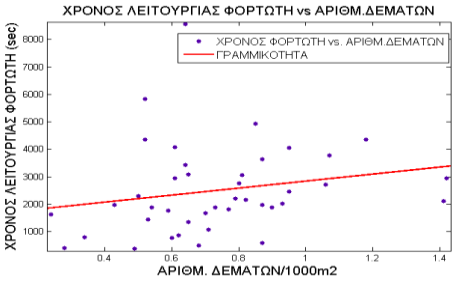
Συνεπώς το μοντέλο για τον προσδιορισμό του χρόνου λειτουργίας είναι:

Field Time Forklift = 0.055 * area + 1309.599 * numberbales - 258.161

Το μοντέλο βαθμονομήθηκε και οι προσομοιωμένες τιμές από τις πραγματικές παρουσιάζουν μία απόκλιση 15%. Η απεικόνιση της γραμμικής σχέσης του χρόνου λειτουργίας του φορτωτή με την επιφάνεια του αγροτεμαχίου και του χρόνου λειτουργίας του φορτωτή με τον αριθμό των δεμάτων δίνεται στα διαγράμματα 7 και 8.



Διάγραμμα 7. Χρόνος λειτουργίας φορτωτή vs. Επιφάνεια Αγροτεμαχίου



Διάγραμμα 8. Χρόνος λειτουργίας φορτωτή vs. Αριθμός δεμάτων

3.5.Προσδιορισμός αριθμού δεμάτων

Προσδιορισμός αριθμού δεμάτων έγινε σε σχέση με την παραγωγή ίνας βάμβακος. Για την πρόβλεψη του αριθμού των δεμάτων εφαρμόστηκαν διαδικασίες regression analysis. Το γραμμικό μοντέλο είναι:

***Number Bales* = 0.018 * yield + 0.02**

Το μοντέλο βαθμονομήθηκε και οι προσομοιωμένες τιμές από τις πραγματικές παρουσιάζουν μία απόκλιση 1%.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα γραμμικά μοντέλα πρόβλεψης του χρόνου λειτουργίας των μηχανημάτων που συμμετέχουν στην συγκομιδή των υπολειμμάτων του βάμβακος επιτρέπουν να γίνουν προβλέψεις σε σχέση με σταθερές παραμέτρους του αγροτεμαχίου και της καλλιέργειας. Οι εξισώσεις που παρουσιάστηκαν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανάπτυξη προτύπων λειτουργίας και οργάνωσης της συγκομιδής στελεχών βάμβακος.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Amiama, C., J. Bueno, and C. J. Alvarez.2008. Influence of the physical parameters of fields and of crop yield on the effective field capacity of a self-propelled forage harvester. Biosystems Engineering,100(2):198-205.

Bochtis, D.D., 2010. Machinery management in bio-production systems: definitions and classifications of planning and scheduling aspects. Agricultural Engineering International: the CIGR Journal of Scientific Research and Development, 12(2), 55-63.

Bochtis, D. D., Sørensen C. G.. 2009. The vehicle routing problem in field logistics partI.Biosystems Engineering, 104(4):447–457.

Bochtis, D. D., Sørensen C. G.. 2010. The vehicle routing problem in field logistics: Part II. Biosystems Engineering, 105(2): 180–188.

Brinkhoff, T., Kriegel, H., Schneider, R., Braun, A., 1995. Measuring the Complexity of Polygonal Objects, Proceedings of ACM International Workshop on Advances in Geographic Information Systems, Baltimore, MD, USA.

Gemtos, T.A, Tsiricoglou T., 1999. Harvesting of cotton residue for energy production. Biomass and Bioenergy, 16(1): 51-59.

Gemtos, T.A, 1992. Crop residues production and use. Applied Research Review1(1):216-233

Liu J.,Grisso R.J Cundiff J. 2013. Harvest Systems and Analysis for Herbaceous Biomass. Biomass Now - Cultivation and Utilization, 44408

McKendry, P..2002. Energy production from biomass (part 1): overview of biomass. Bioresource Technology, 83(1):37-46.

Gónzalez, X.P. , Marey M.F. , Álvarez C.J..2007. Evaluation of productive rural land patterns with joint regard to the size, shape and dispersion of plots. Agricultural Systems,92(1–3):52-62.

Peaura, M., Iivarinen J.1997. Efficiency of Simple Shape Descriptors. In Aspects of Visual Form, 443-451

Sumner, H.R., Hellwig, R.E., Monroe, G.E..1984. Harvestingcotton plant residue for fuel. Trans ASAE 27: 968 – 972.

Voivontas, D., Assimacopoulos D., Koukios E.G..2001. Aessessment of biomass potential for power production: a GIS based method. Biomass and Bioenergy, 20(2): 101-112

ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ ΔΟΣΕΩΝ ΛΙΠΑΣΜΑΤΟΣ ΣΕ ΟΠΩΡΩΝΑ ΜΗΛΩΝ

Βασίλειος Λιάκος[1], Αριστοτέλης Ταγαράκης[1], Άννα [1], Ζήσης Τσιρόπουλος[1], Σπύρος Φουντάς[1], Γεώργιος Νάνος[2], Θεοφάνης. Γέμτος[1]

[1]Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικής Ανάπτυξης, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Σχολή Γεωπονίας, Οδός Φυτόκου, Ν. Ιωνία Μαγνησίας, Τ.Κ. 38446, bill.406@hotmail.com

[2] Εργαστήριο Δενδροκομίας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, Τμ. Γεωπονίας, Φυτικής Παρ/γής και Αγρ. Περιβάλλοντος, Οδός Φυτόκου, Ν. Ιωνία Μαγνησίας, Τ.Κ. 38446

Η χωρική παραλλακτικότητα που παρουσιάζουν η παραγωγή και τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των μήλων είναι πολύ μεγάλη μέσα σε ένα οπωρώνα εξαιτίας της παραλλακτικότητας των ιδιοτήτων του εδάφους και της επίδρασης του περιβάλλοντος στα δέντρα. Η ομοιόμορφη εφαρμογή των εισροών στους οπωρώνες δεν είναι αποδοτική καθώς δεν λαμβάνεται υπ' όψιν η παραλλακτικότητα των χαρακτηριστικών του εδάφους. Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να περιγράψει πώς η εφαρμογή λίπανσης με μεταβλητές δόσεις μπορεί να επηρεάσει το κέρδος του παραγωγού. Οι δόσεις λιπάσματος που χρησιμοποιήθηκαν για την λίπανση των δέντρων βασίστηκε στην παραγωγή της προηγούμενης χρονιάς και στην βιβλιογραφία η οποία αναφέρει ότι από την παραγωγή 44.8 t/ha αφαιρούνται 110 kg/ha άζωτο (IFA 1992). Για την εφαρμογή του λιπάσματος χρησιμοποιήθηκε μια σέσουλα η οποία βαθμονομήθηκε για να παίρνει συγκεκριμένες ποσότητες λιπάσματος. Η σύγκριση της ποσότητας λιπάσματος που χρησιμοποιήθηκε για την εφαρμογή διαφοροποιημένης λίπανσης με την ποσότητα που χρησιμοποίησε ο παραγωγός έδειξε ότι στην πρώτη περίπτωση χρησιμοποιήθηκε 32.4% λιγότερο λίπασμα σε σχέση με την ομοιόμορφη λίπανση. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα την μείωση των εξόδων για την εφαρμογή της λίπανσης κατά 21%. Επιπλέον η σύγκριση της παραγωγής των δύο ετών έδειξε ότι την δεύτερη χρονιά του πειράματος η παραγωγή ήταν μικρότερη εξαιτίας κακών καιρικών συνθηκών κατά την περίοδο της γονιμοποίησης των ανθέων.

Λέξεις κλειδιά: μήλα, λίπανση, γεωργία ακριβείας, μεταβλητές δόσεις, πλεονεκτήματα

VARIABLE RATE APPLICATION OF FERTILIZER IN A COMMERCIAL APPLE ORCHARD

Vasileios Liakos[1], Aristotelis Tagarakis[1], Anna Vatsanidou[1], Zisis Tsiropoulos[1], Spyros Fountas[1], Georgios Nanos[2], Theofanis Gemtos[1]

[1] Laboratory of Farm Mechanization, Department of Agriculture, Crop Production and Rural Environmnent, University of Thessaly, Fytoko str., 38446 N. Ionia Magnesias

[2] Laboratory of Pomology, Department of Agriculture, Crop Production and Rural Environment, University of Thessaly, Fytoko str., 38446 N. Ionia Magnesias

The spatial variability of yield in an apple orchard is high due to the inherent soil variability and the impact of the environment on the trees. A uniform application of inputs within a field is inefficient, as it does not take into consideration field variability. The objective of the present study was to demonstrate how the use of variable rate fertilization in an apple orchard can change the farmer's profit. The VRA (variable rate application) rates of nitrogen were based on the literature which suggests that for every t/ha of yield, 2.45 kg/ha of N are removed from the soil at one growing season. The results of the yield after applying VRA showed that there was a decrease at the second year. Additionally, the comparison of the results between VRA and reference treatments showed that the amount of fertiliser used at VRA treatments was reduced by 32.4%, while the farmer's profit increased by 21%. Moreover the comparison of the yield of both years showed that there was a decrease of the yield at the second year because of adverse weather conditions during the pollination period.

Key words: apples, fertilization, precision agriculture, variable rates, advantages

1. Εισαγωγή

Η πρώτη εφαρμογή γεωργίας ακριβείας έγινε σε φυτά μεγάλης καλλιέργειας λόγω της ύπαρξης εξελιγμένων αισθητήρων που μπορούσαν να χαρτογραφήσουν την παραγωγή. Στην Ελλάδα άργησε να εφαρμοστεί η γεωργία ακριβείας εξαιτίας της μικρής έκτασης των αγροκτημάτων και της πολύ αργής υιοθέτησης της νέας τεχνολογίας. Παρόλα αυτά η πρώτη εφαρμογή γεωργίας ακριβείας στην Ελλάδα έγινε σε καλλιέργεια βαμβακιού το 2001. Η έρευνα έδειξε ότι ακόμη και σε μικρά αγροκτήματα η χωρική παραλλακτικότητα της παραγωγής ήταν πολύ μεγάλη (Gemtos et al., 2005). Η γεωργία ακριβείας χρησιμοποιεί σύγχρονα συστήματα που προσαρμόζουν τις δόσεις των εισροών που εφαρμόζονται στους αγρούς σύμφωνα με τις πραγματικές ανάγκες των φυτών. Η ομοιόμορφη εφαρμογή λιπάσματος δεν είναι αποδοτική καθώς δε λαμβάνει υπ' όψιν την παραλλακτικότητα της παραγωγής. Την τελευταία δεκαετία οι εφαρμογές μεταβλητών δόσεων εισροών έχουν γίνει πολύ δημοφιλείς καθώς δίνουν την ευκαιρία στους

παραγωγούς να διαχειριστούν κατάλληλα την παραλλακτικότητα της παραγωγής.

Τα συστήματα μεταβλητών δόσεων εισροών αναπτύχθηκαν με σκοπό να αυξήσουν την απόδοση των λιπασμάτων, να μειώσουν την περιβαλλοντική ρύπανση και να βοηθήσουν τους παραγωγούς να αυξήσουν το κέρδος τους. Υπάρχουν μερικές έρευνες που αποδεικνύουν ότι η λίπανση με μεταβλητές δόσεις μπορεί να αυξήσει την παραγωγή του σόργου (Yang et. al., 1999; Yang et al., 2001) και του καλαμποκιού (Wittery and Mallarino, 2004). Από την άλλη μεριά πειράματα που έκαναν οι Lowenberg-DeBoer and Aghib (1999) σε καλαμπόκι και σιτάρι έδειξαν ότι η παραγωγή δεν αυξήθηκε σημαντικά ενώ οι English et al. (2001) κατέληξαν πως η αύξηση της παραγωγής εξαρτάται από την παραλλακτικότητα που εμφανίζεται στον αγρό.

Η καλλιέργεια των μήλων είναι η τέταρτη πιο σημαντική καλλιέργεια για την ελληνική παραγωγή μετά την καλλιέργεια ελιάς, παρτοκαλιού και ροδάκινου (Vasilakakis, 2004). Παρόλα αυτά οι οπωρώνες διαχειρίζονται με τον παραδοσιακό τρόπο. Η εφαρμογή του λιπάσματος γίνεται με τα χέρια σε ομοιόμορφες δόσεις καθώς η αποστάσεις μεταξύ των σειρών είναι πολύ μικρές και δεν υπάρχει χώρος για την κίνηση των μηχανημάτων. Το άζωτο είναι πολύ σημαντικό μακροθρεπτικό για τα δέντρα. Συνήθως εφαρμόζεται σε δύο χρονικές στιγμές: την άνοιξη, δύο εβδομάδες πριν την άνθιση και το καλοκαίρι. Υπερδοσολογία αζώτου μπορεί να προκαλέσει πολύ υψηλά δέντρα και χαμηλή παραγωγή. Οι Weinbaum et al. (1992) και Huett, (1996) κατέληξαν ότι το άζωτο επηρεάζει την ευρωστία των δέντρων αλλά συμβάλει στη μόλυνση των υπόγειων νερών (Sanchez et al. 2003).

Παρά την σπουδαιότητα της διαχείρισης του αζώτου στους οπωρώνες δεν υπάρχουν πολλές δημοσιευμένες εργασίες σε αυτόν τον τομέα. Οι Lopez-Grannados et al. (2004) πρότειναν τη δημιουργία ζωνών διαχείρισης με βάση τη χωρική παραλλακτικότητα των θρεπτικών συστατικών στα φύλλα, ενώ οι Zaman και Schuman (2006) διαχώρισαν ζώνες διαχείρισης σε οπωρώνα πορτοκαλιού σύμφωνα με τα εδαφικά χαρακτηριστικά. Οι Fountas et al. (2010) εφάρμοσαν λίπανση φωσφόρου και καλίου σε έναν ελαιώνα ενώ οι Aggelopoulou et al. (2010) δημιούργησαν χάρτες για αζωτούχο λίπανση σε οπωρώνα μηλιάς με βάση την παραγωγή της προηγούμενης χρονιάς. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι με αυτή τη μεθοδολογία η χρησιμοποιούμενη ποσότητα λιπάσματος μειώνεται κατά 38%. Το αντικείμενο της παρούσας έρευνας είναι να παρουσιάσει τα πλεονεκτήματα της εφαρμογής λίπανσης με μεταβλητές δόσεις σε οπωρώνα μηλιάς καθώς και τα προβλήματα τα οποία προκύπτουν.

2. Υλικά και μέθοδοι

2.1 Ο πειραματικός οπωρώνας

Το πείραμα έγινε σε έναν οπωρώνα μήλων στην περιοχή Αετόλοφος της Κεντρικής Ελλάδας (39.6653401ο N, 22.7340308ο E). Το μέγεθός του ήταν 1.96 ha και υπήρχαν δύο ποικιλίες. Η κύρια ποικιλία ήταν η cv. Granny Smith ενώ η cv. Red Chief χρησιμοποιούνταν σαν επικονιάστρια. Οι αποστάσεις μεταξύ των σειρών στον οπωρώνα ήταν 4 m ενώ οι μεταξύ των δέντρων επί των σειρών ήταν 1 m. Η έρευνα έγινε τα έτη 2010 και 2011. Το 2010 ήταν ένα κανονικό έτος για τις καλλιέργειες των μήλων χωρίς προβλήματα και οι καιρικές συνθήκες ήταν ιδανικές για την καρπόδεση. Από την άλλη μεριά το 2011 δεν υπήρχαν προβλήματα με ασθένειες αλλά ο καιρός δεν ήταν ιδανικός την περίοδο της καρπόδεσης καθώς επικρατούσε υψηλή σχετική υγρασία, χαμηλές θερμοκρασίες και οι βροχοπτώσεις ήταν αυξημένες. Στα μέσα Οκτωβρίου 2010 και αρχές Νοεμβρίου 2011 μετρήθηκε η παραγωγή των μήλων και δημιουργήθηκαν οι αντίστοιχοι χάρτες. Τα δεδομένα της παραγωγής του 2010 χρησιμοποιήθηκαν για δημιουργηθεί ο χάρτης εφαρμογής του λιπάσματος το 2011.

2.2 Καιρικά δεδομένα

Η ημερήσια σχετική υγρασία του αέρα και η θερμοκρασία ελήφθησαν από την Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία ενώ το ημερήσιο ύψος βροχής λήφθηκε από έναν μετεωρολογικό σταθμό κοντά στον οπωρώνα. Τα δεδομένα καιρού αναλύθηκαν στο λογισμικό Microsoft Office Excel 2007. Η ανάλυση επικεντρώθηκε στον υπολογισμό της μέσης τιμής της σχετικής υγρασίας, της θερμοκρασίας και του ύψους βροχής ανά 5 ημέρες από την 1η Απριλίου μέχρι τα μέσα Μαΐου και για τις δύο χρονιές, καθώς αυτοί οι μήνες είναι πολύ σημαντικοί για την καρπόδεση (Πίνακας 1).

Πίνακας 1. Καιρικά δεδομένα για τις δύο χρονιές.

	Μέση σχετική υγρασία (%)		Μέση θερμοκρασία (oC)		Μέσο ύψος βροχής (mm)	
Ημέρες	2010	2011	2010	2011	2010	2011
1 - 5 / 4	71.3	78.6	13.3	12.8	0.04	0.88
6 - 10 / 4	61.3	60.8	12.6	15.5	0	0.04
11 - 15 / 4	75.0	62	13.0	13.2	0.28	0.44
16 - 20 / 4	77.6	80	15.6	10.3	1.48	2
21 - 25 / 4	64.3	73.2	16.2	11.8	0	0
26 - 30 / 4	56.3	88.2	15.3	12.9	0.04	1.76
1 - 5 / 5	61.4	87.8	18.7	16.4	0	1.16
6 - 10 / 5	58.2	74.4	18.9	13.6	0	0.64
11 - 15 / 5	55.1	62.4	22.3	16.9	0.46	0.04

2.3 Συγκομιδή

Στα μέσα Οκτωβρίου 2010 και αρχές Νοεμβρίου 2011 τα μήλα μαζεύονταν με τα χέρια. Τοποθετούνταν μέσα σε πλαστικά τελάρα των 20 κιλών τα οποία είχαν αφεθεί κατά μήκος των σειρών. Πριν τη συγκομιδή κάθε σειρά είχε χωριστεί σε διαστήματα των 15 μέτρων. Όλα τα γεμάτα τελάρα που αντιστοιχούσαν σε διάστημα των 15m συγκεντρώνονταν μαζί και ζυγίζονταν για να γίνει

μετέπειτα η χαρτογράφηση της παραγωγής. Οι γεωγραφικές συντεταγμένες του μέσου κάθε διαστήματος καταγράφονταν σε μια συσκευή GPS (Garmin Etrex Legend H). Τα καταγεγραμμένα δεδομένα της παραγωγής εισήχθησαν στη συνέχεια στο λογισμικό Farmwork™ v.2010.2.438 (Trimble Navigation Limited, USA) ενώ για την ταξινόμησή τους χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος quantile κατά την οποία σε κάθε κλάση αντιστοιχεί ο ίδιος αριθμός δεδομένων. Με αυτόν τον τρόπο η ύπαρξη προβληματικών δέντρων δεν μπορεί να επηρεάσει την ολική ταξινόμηση. Τέλος, για την παρουσίαση των δεδομένων αποφασίστηκε να δημιουργηθούν τρείς κλάσεις (χαμηλή, μέση, υψηλή παραγωγή).

2.4.Χάρτες εφαρμογής

Το πειραματικό σχέδιο αποτελούνταν από μια στρατηγική εφαρμογής μεταβλητής λίπανσης και μια ομοιόμορφης. Ο οπωρώνας αποτελούνταν από 25 σειρές δένδρων και επέτρεπε την χρήση 13 σειρών για εφαρμογή μεταβλητών δόσεων λιπάσματος και 12 για ομοιόμορφη χρήση του. Το λίπασμα που χρησιμοποιήθηκε το 2011 ήταν 11-15-15 (N-P-K). Οι δόσεις του λιπάσματος που χρησιμοποιήθηκαν για την εφαρμογή μεταβλητής λίπανσης προήλθαν από την ποσότητα των θρεπτικών που αφαιρέθηκαν από τον οπωρώνα με την παραγωγή της προηγούμενης χρονιάς. Σύμφωνα με το IFA (1992) για κάθε t/ha παραγωγής αφαιρούνται από το έδαφος 2.4 Kg/ha αζώτου. Στη μεταχείριση όπου έγινε ομοιόμορφη λίπανση χρησιμοποιήθηκαν οι δόσεις που χρησιμοποιεί ο παραγωγός κάθε χρόνο. Για τον υπολογισμό των δόσεων για τη μεταβλητή λίπανση λήφθηκε υπ' όψιν η μέγιστη παραγωγή κάθε κλάσης. Στον Πίνακα 2 φαίνονται οι δόσεις που χρησιμοποιήθηκαν (σε kg/plot) τον Μάρτιο του 2011. Για την εφαρμογή της μεταβλητής λίπανσης χρησιμοποιήθηκε μια σέσουλα η οποία είχε βαθμονομηθεί να γεμίζει 0.5 kg, 0.1 kg και 1 kg από το συγκεκριμένο λίπασμα.

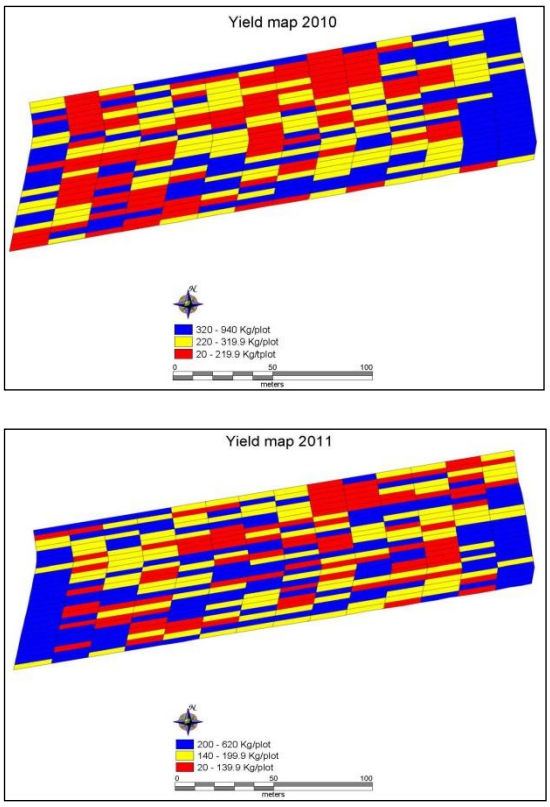
Πίνακας 2. Δόσεις λιπάσματος που χρησιμοποιήθηκαν

	Εφαρμοσμένες δόσεις (kg/64 m^2)		
Μέθοδος	Παραγωγή		
	Χαμηλή	Μέση	Υψηλή
Μεταβλητή λίπανση	4	7	20.9
Ομοιόμορφη λίπανση	16		

3. Αποτελέσματα και συζήτηση

3.1 Παραγωγή

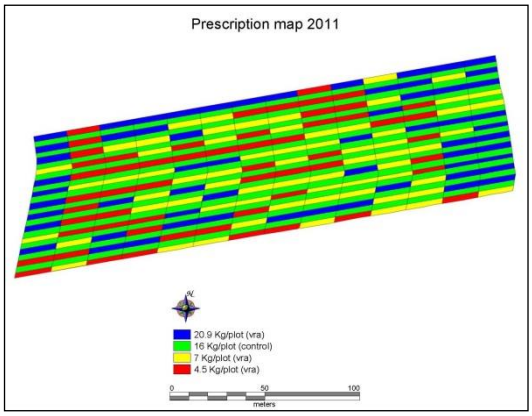
Η χωρική και χρονική παραλλακτικότητα της παραγωγής ήταν μεγάλη και τα δύο χρόνια (Εικόνα 1). Το 2010 οι τιμές της παραγωγής ήταν μεταξύ 20 kg/plot και 940 kg/plot ενώ το 2011 ήταν από 20 kg/plot μέχρι 620 kg/plot. Είναι φανερό ότι το 2011 η παραγωγή μειώθηκε σε σχέση με την παραγωγή του προηγούμενου έτους. Αυτό συνέβη καθώς οι καιρικές συνθήκες δεν ήταν ιδανικές κατά την επικονίαση των ανθέων όπως αναφέρθηκε προηγουμένως με αποτέλεσμα την μειωμένη καρπόδεση.



Εικόνα 1. Χάρτες παραγωγής για τα έτη 2010 και 2011.

3.2 Χάρτες εφαρμογής λιπάσματος

Ο χάρτης εφαρμογής λιπάσματος παρουσιάζεται στην Εικόνα 2.



Εικόνα 2. Χάρτης εφαρμογής λιπάσματος με μεταβλητές δόσεις.

3.3 Σύγκριση μεθόδων λίπανσης

Αρχικά έγινε σύγκριση της παραγωγής του 2010 και 2011 για να ερευνηθεί εάν είχε εκδηλωθεί το φαινόμενο της παρενιαυτοφορίας κατά τα 2 έτη. Παρά τη χαμηλή παραγωγή το 2011 δεν φάνηκε να υπάρχει το φαινόμενο της παρενιαυτοφορίας καθώς η μείωση της παραγωγής δεν ήταν μεγαλύτερη του 50% σε σχέση με το 2010.

Η χαμηλή παραγωγή το 2011 ίσως προκλήθηκε από τη μη αποδοτική επικονίαση των ανθέων και καρπόδεση. Σύμφωνα με τον Πίνακα 1, το 2010 η σχετική υγρασία του αέρα μειώθηκε (10%) σταδιακά κατά την επικονίαση των ανθέων και την καρπόδεση (21 Απριλίου – 15 Μαΐου 2010). Η θερμοκρασία του αέρα ήταν ικανοποιητική για την κινητικότητα των επικονιαστών αλλά το 2011 η σχετική υγρασία και το ύψος βροχής ήταν αυξημένα ενώ η θερμοκρασία του αέρα ήταν χαμηλή. Όταν η σχετική υγρασία και το ύψος βροχής είναι αυξημένα και η θερμοκρασία του αέρα είναι κάτω από 15°C κατά την περίοδο της επικονίασης, τότε οι επικονιαστές (συνήθως μέλισσες) δεν πετάνε πολύ μακριά από τις φωλιές κάτι που προκαλεί μειωμένη επικονίαση στα άνθη (Childers et al., 1995). Επιπλέον η υψηλή σχετική υγρασία σε συνδυασμό με χαμηλές θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια του Απριλίου και στις αρχές του Μαΐου 2011 δεν επέτρεψαν τη σωστή δημιουργία του γυρεοσωλήνα με αποτέλεσμα η καρπόδεση να είναι μειωμένη (Childers et al., 1995).

Ο πίνακας 3 παρουσιάζει την συνολική παραγωγή κάθε σειράς του οπωρώνα και τη συνολική ποσότητα λιπάσματος που χρησιμοποιήθηκε σε κάθε περίπτωση. Επίσης θεωρώντας ότι η τιμή του λιπάσματος ήταν 0.7 ευρώ/kg και ότι η τιμή πώλησης των μήλων ήταν 0.3 ευρώ/kg, υπολογίστηκε το κέρδος του παραγωγού και η μείωση του χρησιμοποιούμενου λιπάσματος που επήλθε από τη χρήση μεταβλητής λίπανσης σε σχέση με την ομοιόμορφη.

Πίνακας 3. Διαφορές που παρουσιάστηκαν μεταξύ των δύο μεθόδων λίπανσης.

		Παραγωγή 2011	Λίπασμα	Κέρδος	Μεταβολή λιπάσματος	Μεταβολή κέρδους
Σειρά	Μέθοδο	(Kg/σειρά)	(Kg/σειρά)	(%)	(%)	(%)
1	M*	2620	83	91.8	-62.9	8.6
2	O**	4240	224	84.5		
3	M*	2710	185.3	79.2	-17.3	2.1
4	O**	2700	224	77.6		
5	M*	2380	190.3	80.9	-15.0	0.1
6	O**	3140	224	80.8		
7	M*	2330	127.2	86	-43.2	9.8
8	O**	2800	224	78.3		
9	M*	2420	139.1	85.1	-37.9	15.9
10	O**	2530	224	73.4		
11	M*	2940	173.9	85.1	-22.4	2.7
12	O**	3320	224	82.9		
13	M*	2900	110.8	91	-50.5	46.5
14	O**	2040	224	62.1		
15	M*	2540	195.3	81.4	-12.8	0.1
16	O**	3000	224	81.3		
17	M*	2180	105.8	88.4	-52.8	17.2
18	O**	2660	224	75.4		
19	M*	2020	96.9	78.8	-56.7	36.3
20	O**	2040	224	57.8		
21	M*	2740	160	85.2	-28.6	30.5
22	O**	1920	224	65.3		
23	M*	2660	168.9	85.5	-24.6	33.0
24	O**	1680	224	64.3		
25	M*	2420	232	76.9	3.6	19.6
Μέση τιμή					-32.4	21.0

*Μεταβλητή λίπανση
**Ομοιόμορφη λίπανση

Η ανάλυση του κέρδους του παραγωγού που προκύπτει από την εφαρμογή λίπανσης με μεταβλητές δόσεις έδειξε ότι αυτό είναι αυξημένο κατά 21% σε σχέση με την εφαρμογή ομοιόμορφης λίπανσης ενώ η χρησιμοποιούμενη ποσότητα του λιπάσματος παρουσιάζεται μειωμένη κατά 32.4% στη μεταβλητή λίπανση. Σε παρόμοιο αποτέλεσμα (38%) κατέληξε και η έρευνα των Aggelopoulou et al., (2010). Επίσης θα πρέπει να σημειωθεί πώς το 2010 η παραγωγή στις περιοχές όπου θα εφαρμόζονταν μεταβλητή λίπανση το 2011 ήταν μειωμένη κατά 38% σε σχέση με τις υπόλοιπες περιοχές του οπωρώνα ενώ το 2011 μετά την εφαρμογή μεταβλητής λίπανσης αυτή η διαφορά ήταν 20%. Αυτό σημαίνει ότι η λίπανση με μεταβλητές δόσεις επηρέασε θετικά την παραγωγή των μήλων.

4. Συμπεράσματα

- Η επιλογή των δόσεων λιπάσματος βασισμένη στα θρεπτικά συστατικά που αφαιρούνται από τον οπωρώνα με την παραγωγή της προηγούμενης χρονιάς είναι αποδοτική.
- Η χρήση λίπανσης με μεταβλητές δόσεις μπορεί να βελτιώσει την παραγωγή μήλων.
- Τα δεδομένα μιας χρονιάς έδειξαν ότι η λίπανση με μεταβλητές δόσεις μπορεί να αυξήσει το κέρδος του παραγωγού κατά 21% και να μειώσει τη χρησιμοποιούμενη ποσότητα λιπάσματος κατά 32.4%.

Βιβλιογραφία

Aggelopoulou, K., Pateras, D., Fountas, S., Gemtos, T., Nanos, G., 2010. Soil spatial variability and site-specific fertilization maps in an apple orchard. Precision Agriculture. 12:118–129.

Childers, N. F., Morris, J. R., & Sibbett, G. S., 1995. Modern Fruit Science Horticultural Publications, Gainesville, Florida, Chapter VI.

English, B., Mahajanashetti, S., Roberts, R., 2001. Assessing spatial break-even variability in fields with two or more management zones. J. Agric. Appl. Econ., 33:551–565.

Fountas, S., Aggelopoulou, K., Bouloulis, C., Nanos, G., Wulfsohn, D., Gemtos, T., Paraskevopoulos, A.,

Galanis, M., 2011. Site-specific management in an olive tree plantation. Precision agriculture, 12(2):179-195.

Gemtos, T. A., Markinos, A., & Nassiou, T., 2005. Cotton lint quality spatial variability and correlation with soil properties and yield. In: Precision Agriculture '05: Proceedings of the 5th European Conference on Precision Agriculture, edited by J. V. Stafford, Wageningen Academic Press, Wageningen, The Netherlands, pp. 361-368.

Huett, D.O., 1996. Prospects for manipulating the vegetative–reproductive balance in horticultural crops through nitrogen nutrition: a review. Aust. J. Agric. Res. 47:47–66.

IFA. 1992. International Fertilizer Association. World Fertilizer Use Manual. Available at http://www.fertilizer.org/ifa/Home-Page/LIBRARY/World-Fertilizer-Use-Manual/by-common-names, last accessed September 2012.

Lopez-Granados, F., Jurado-Exposito, M., Alamo, S., & Garcia-Torres, L., 2004. Leaf nutrient spatial variability and site-specific fertilization maps within olive Olea europaea L. orchards. European Journal of Agronomy, 21:209–222.

Lowenberg-DeBoer, J., Aghib, A., 1999. Average return and risk characteristics of site specific P and K management: Eastern Corn Belt on-farm trial results. Journal of Production in Agriculture, 122:276–282.

Sanchez-Perez, J., Vervier, P., Garabétian, F., Sauvage, S., Loubet, M., Rols, J., Bariac, T., Weng, P., 2003 Nitrogen dynamics in the shallow groundwater of a riparian wetland zone of the Garonne, SW France: nitrate inputs, bacterial densities, organic matter supply and denitrification measurements. Hydrology and Earth System Sciences, 71:97-107.

Vasilakakis, M., 2004. General and specialized pomology pp. 276–311. Thessaloniki, Greece: Gartaganis Publications in Greek.

Weinbaum, S.A., R.S. Johnson, and T.M. DeJong. 1992. Causes and consequences of overfertilization in orchards. HortTech. 2:112-121.

Wittery, D., Mallarino, A., 2004. Comparison of uniform and variable rate phosphorus fertilization for corn-soybean rotations. Am. Soc. Agron. J., 96:26–33.

Yang, C., Everitt, J.H., Bradford, J.M., 1999. Comparison of Uniform and Variable Rate Fertilizer Application using a Variable Rate Liquid Applicator. ASAE, No. 99-1145, ASAE, St. Joseph, MI.

Yang, C., Everitt, J., Bradford, J., 2001. Comparison of uniform and variable rate nitrogen and phoporus fertilizer application for grain sorghum. Trans. ASAE, 44(2):201–209.

Zaman, Q., & Schuman, W. A., 2006. Nutrient management zones for citrus based on variation in soil properties and tree performance. Precision Agriculture,7:45–63.

ΜΗΧΑΝΙΣΤΙΚΗ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΒΑΣΙΣΜΕΝΗ ΣΕ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΗΣ ΖΩΝΙΚΗΣ ΚΙΝΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΕΠΙΚΑΛΥΨΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΝΕΑΡΩΝ ΚΟΤΟΠΟΥΛΩΝ ΣΕ ΜΙΚΡΟ ΑΕΡΙΖΟΜΕΝΟ ΘΑΛΑΜΟ

Β. Ανέστης, Α. Γιούσσεφ, Β. Εξαδάκτυλος, Ντ. Μπέρκμανς
Division M3-BIORES: Measure, Model & Manage Bioresponses KU Leuven, Kasteelpark Arenberg 30-3001, Leuven, Belgium

Ο έλεγχος της κινητικότητας των κοτόπουλων θα μπορούσε να αποτελέσει ένα χρήσιμο και χαμηλού κόστους εργαλείο για την βελτίωση της διαβίωσής τους. Στην παρούσα εργασία, χρησιμοποιήθηκε η προσέγγιση της Μηχανιστικής Μοντελοποίησης Δεδομένων (DBM Modelling) ώστε να εξηγηθούν η κινητικότητα και η επικάλυψη επιφανείας από κοτόπουλα 4 και 5 ημερών ως απόκριση σε βηματικές μεταβολές της ηλεκτρικής ισχύος θέρμανσης και του ρυθμού αερισμού, μέσα σε ένα μικρό θάλαμο. Οι βηματικές μεταβολές επιλέχθηκαν με σκοπό να οδηγήσουν τα κοτόπουλα σε κατάσταση θερμικής δυσφορίας (καταπόνηση λόγω ζέστης και λόγω κρύου) κατά τη διάρκεια των πειραμάτων. Για τις ανάγκες της δυναμικής μοντελοποίησης της εργασίας αυτής η επιφάνεια του θαλάμου χωρίστηκε σε 9 ίσες φανταστικές ζώνες και εφαρμόστηκε η θεωρία μοντελοποίησης Συναρτήσεων Μεταφοράς (TF) διακριτού χρόνου. Βρέθηκε ότι κάτω από συνθήκες καταπόνησης λόγω κρύου, ο αθροιστικός δείκτης κινητικότητας στην ολική επιφάνεια του θαλάμου ως απόκριση στη μέση θερμοκρασία του θαλάμου και στο ρυθμό αερισμού μπορεί να μοντελοποιηθεί με μοντέλα Συνάρτησης Μεταφοράς πρώτης τάξης με συντελεστές προσδιορισμού R_T^2 0.983 και 0.960, αντίστοιχα. Τα μοντέλα αυτά θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για αυτόματο Έλεγχο Προβλεπτικού Μοντέλου (MPC) της κινητικότητας των κοτόπουλων μέσα σε αυτόν το μικρό θάλαμο κάτω από συνθήκες καταπόνησης λόγω κρύου.

Λέξεις κλειδιά: κινητικότητα, επικάλυψη επιφανείας, DBM, μοντελοποιήση, MPC, TF, διακριτός χρόνος

DATA-BASED MECHANISTIC MODELLING OF YOUNG CHICKENS' ZONAL ACTIVITY AND OCCUPATION IN A SMALL VENTILATED CHAMBER

V. Anestis, A. Youssef, V. Exadaktylos, D. Berckmans
Division M3-BIORES: Measure, Model & Manage Bioresponses KU Leuven, Kasteelpark Arenberg 30-3001, Leuven, Belgium
Daniel.Berckmans@biw.kuleuven.be

Control of broilers' activity could be potentially used as one of the existing inexpensive tools for improving their welfare. In the present work, the Data-based Mechanistic (DBM) modelling approach was used to explain the activity and occupation responses of 4 and 5 days old broilers to applied step-wise changes in electrical power and in ventilation rate inside a small chamber. These step-wise changes were applied with the purpose to create conditions of thermal discomfort for the broilers (either heat stress or cold stress) during the experiments. For the dynamic modelling purposes of this work the chamber area was separated into 9 equal imaginary zones and the discrete-time Transfer Function (TF) modelling theory was applied. It was found that the cumulative sum of broilers' activity index in the total chamber as a response to the average chamber temperature and to the ventilation rate under cold stress conditions can be modelled by a first order TF model with coefficients of determination R_T^2 0.983 and 0.960, respectively. These models can be potentially used for Model-based predictive control (MPC) of the chickens' activity inside this small chamber under cold stress conditions.

Key words: activity, occupation, DBM, modelling, MPC, TF, discrete-time

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο έλεγχος της κινητικότητας των κοτόπουλων μέσα σε πυκνοκατοικημένες φάρμες θα μπορούσε να αποτελέσει ένα χρήσιμο και χαμηλού κόστους εργαλείο για τον έλεγχο της καλής τους διαβίωσης (Kristensen *et al.*, 2006).

Ο επιτυχημένος αυτόματος έλεγχος του φυσικού μικροπεριβάλλοντος των κοτόπουλων σε πραγματικό χρόνο είναι ιδιαίτερης σημασίας για τον έλεγχο της κινητικότητάς τους, εφόσον αποκρίνονται (και κινούνται) με συγκεκριμένο τρόπο σε μεταβολές παραμέτρων που βιώνουν όπως η θερμοκρασία και η υγρασία του αέρα και ο ρυθμός αερισμού (Prayitno *et al.*, 1997; Bizeray *et al.*, 2002; Kristensen *et al.*, 2006). Μία εξελιγμένη μέθοδος για τον αυτόματο έλεγχο σε πραγματικό χρόνο είναι η θεωρία Ελέγχου Προβλεπτικού Μοντέλου (Model-based Predictive Control, MPC) (Aerts *et al.*, 2003b). Σύμφωνα με αυτή τη μέθοδο, αυξημένη προσοχή δίνεται στους αισθητήρες που μετρούν τις μεταβλητές ελέγχου εξόδου (π.χ. κινητικότητα κοτόπουλων, θερμοκρασία αέρα, υγρασία αέρα) και στο μοντέλο της βιο-διεργασίας το οποίο συσχετίζει τις μεταβλητές ελέγχου εξόδου με τις μεταβλητές ελέγχου εισόδου (π.χ. ρυθμός αερισμού, ρυθμός θέρμανσης/ ψύξης, ρυθμός ύγρανσης/ αφύγρανσης). Ένας λειτουργικός τρόπος μέτρησης της κινητικότητας των κοτόπουλων είναι με χρήση τεχνικών επεξεργασίας εικόνας (Leroy *et al.*, 2008). Εφόσον οι αποκρίσεις των κοτόπουλων στο μικροπεριβάλλον τους είναι πολύπλοκες, χρονικά εξαρτώμενες και συγκεκριμένες για κάθε ζώο ξεχωριστά, είναι πιθανότερο να χρειάζονται τεχνικές

δυναμικής μοντελοποίησης σε πραγματικό χρόνο για την ανάπτυξη του μαθηματικού μοντέλου της διεργασίας (Aerts *et al.*, 2003a). Ενδιαφέρουν τρεις κατηγορίες μοντέλων: α) τα μοντέλα Δεδομένων (Data-based), β) τα Μηχανιστικά μοντέλα (Mechanistic) και γ) τα Μηχανιστικά μοντέλα Δεδομένων (Data-based Mechanistic, DBM). Από τη μία μεριά, η πολυπλοκότητά τους έχει θέσει τα Μηχανιστικά μοντέλα ακατάλληλα για στόχους ελέγχου, από την άλλη όμως, λόγω της υψηλής τους ακρίβειας, αποτελούν ένα εξαιρετικό εργαλείο για την ανταλλαγή επιστημονικών πληροφοριών και για τη μελέτη της συμπεριφοράς της διεργασίας εμμέσως (off line) και μέσω προσομοιώσεων (Aerts *et al.*, 2000). Τα μοντέλα δεδομένων, δεν απαιτούν a priori υποθέσεις για το βιολογικό σύστημα, είναι πολύ απλούστερα από τα μηχανιστικά μοντέλα και μπορούν συνεπώς να χρησιμοποιηθούν καλύτερα για Έλεγχο Προβλεπτικού Μοντέλου (MPC) ενός βιοσυστήματος (Kristensen *et al.*, 2006). Τέλος, στη μηχανιστική μοντελοποίηση δεδομένων (DBM), το μοντέλο που σχηματίζεται μετά την ανάλυση των διαθέσιμων πειραματικών δεδομένων μπορεί να θεωρηθεί αξιόπιστο μόνο εάν μπορεί να έχει φυσική ερμηνεία σύμφωνα με τη φύση του βιολογικού συστήματος (Young, 2006).

Στόχος της παρούσας εργασίας είναι να εφαρμόσει την προσέγγιση της μηχανιστικής μοντελοποίησης δεδομένων (DBM) για να συσχετίσει τους δείκτες δυναμικής κινητικότητας και επικάλυψης επιφανείας νεαρών κοτόπουλων κρεατοπαραγωγής οι οποίοι προκύπτουν από την επεξεργασία εικόνας, ως απόκριση σε:

α) μία μεταβολή (αύξηση και μείωση) της μέσης θερμοκρασίας που προκλήθηκε από βηματική μεταβολή (αύξηση και μείωση) της ηλεκτρικής ισχύος των θερμικών στοιχείων και για σταθερή τάση του ανεμιστήρα και

β) μία βηματική αύξηση της εφαρμοζόμενης ροής αερισμού καθώς τα κοτόπουλα βίωναν θερμοκρασία αυξημένη σε υψηλά επίπεδα (καταπόνηση λόγω ζέστης) καθώς και θερμοκρασία μειωμένη σε χαμηλά επίπεδα (καταπόνηση λόγω κρύου).

Υπάρχει η πρόθεση τα μοντέλα που προκύπτουν να χρησιμοποιηθούν ως βάση για Έλεγχο Προβλεπτικού Μοντέλου (MPC) της κινητικότητας νεαρών κοτόπουλων κάτω από συνθήκες θερμικής δυσφορίας χρησιμοποιώντας ως μεταβλητές ελέγχου εισόδου το ρυθμό αερισμού και την ηλεκτρική ισχύ που καταναλώνεται από τα θερμικά στοιχεία και ως μεταβλητές ελέγχου εξόδου τους δείκτες κινητικότητας και επικάλυψης επιφανείας των κοτόπουλων και τις μετρούμενες θερμοκρασίες.

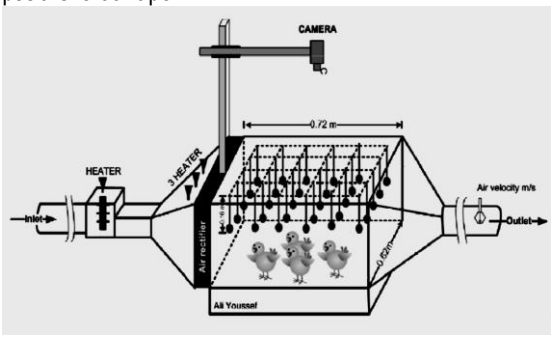
2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1. Πειραματική Διάταξη

Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας όλα τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν χρησιμοποιώντας έναν μικρής κλίμακας θάλαμο εξοπλισμένο με όργανα μέτρησης που βρίσκεται στο Κέντρο Μηχανικής Αγροτικών και Βιολογικών Συστημάτων της Leuven (LABEC) του Τμήματος Βιοσυστημάτων του Καθολικού Πανεπιστημίου της Leuven (KU Leuven), στο Βέλγιο.

Ο πειραματικός θάλαμος (Εικόνα 2.1.) είχε τις ακόλουθες εσωτερικές διαστάσεις: μήκος=0.72m, πλάτος=0.62m και ύψος=0.385m. Οι πλευρές και το πάνω μέρος του θαλάμου ήταν κατασκευασμένες από διάφανο plexiglas μέσα σε πλαίσιο αλουμινίου. Επίσης διαφορετικά είδη συστημάτων αγωγών ήταν συνδεδεμένα στην είσοδο και έξοδο του θαλάμου με σκοπό να διευκολύνουν την είσοδο και έξοδο του αέρα μέσα σε αυτόν.

Τόσο οι αισθητήρες όσο και οι ενεργοποιητές ήταν εγκατεστημένοι στη διάταξη για την πραγματοποίηση του ελέγχου της θερμοκρασίας μέσα στο θάλαμο.



Εικόνα 2.1. Σχηματική αναπαράσταση του θαλάμου για την παρακολούθηση της κινητικότητας των κοτόπουλων.

Όσον αφορά στους ενεργοποιητές, τέσσερα ηλεκτρικά στοιχεία θέρμανσης και δύο αξονικοί ανεμιστήρες είχαν εγκατασταθεί. Όλα τα θερμαντικά στοιχεία και ο ένας αξονικός ανεμιστήρας ήταν τοποθετημένα στην είσοδο του αέρα στο θάλαμο, ενώ ο άλλος αξονικός ανεμιστήρας ήταν τοποθετημένος στην έξοδο του αέρα από το θάλαμο για να υποχρεώνει τον αέρα σε έξοδο. Η συνολική μέγιστη θερμαντική ισχύς ήταν 2040W, ενώ η μέγιστη ισχύς κατανάλωσης των ανεμιστήρων ήταν 15W. Τόσο ο ρυθμός θέρμανσης όσο και ο ρυθμός αερισμού μπορούσαν να ελεγχθούν τόσο χειροκίνητα μέσω κουτιών ελέγχου (FANCOM, The Netherlands) όσο και αυτόματα μέσω ηλεκτρονικού υπολογιστή μετά την εγκατάσταση κατάλληλου λογισμικού ή του MATLAB.

Όσον αφορά στους αισθητήρες, δύο είδη είχαν συνδεθεί στο σύστημα: 30 αισθητήρες θερμοκρασίας και ένας αισθητήρας για την ταχύτητα αέρα. Οι 30 αισθητήρες θερμοκρασίας (LM35 semiconductors) είχαν τοποθετηθεί ομοιόμορφα μέσα στο θάλαμο σε ένα 6x5 διδιάστατο πλέγμα με τέτοιο τρόπο ώστε να αιωρούνται 0.16m κάτω από την οροφή του και μέσα στον άδειο χώρο του. Ο αισθητήρας ταχύτητας αέρα (EE70-VT3) είχε εγκατασταθεί στην έξοδο του αέρα σε τέτοια θέση ώστε να διασφαλίζεται η ακριβής μέτρηση της μέγιστης ταχύτητας του αέρα.

Για τη συλλογή των δεδομένων χρησιμοποιήθηκε μία συσκευή (National Instrument) τύπου NIDAG USB-6225 Pinout στην οποία είχαν συνδεθεί τόσο οι αισθητήρες (analogue input) όσο και τα κουτιά ελέγχου για τους ενεργοποιητές (analogue output).

Με τη χρήση ενός κώδικα MATLAB γινόταν μετατροπή των αναλογικών σημάτων σε ψηφιακά χρησιμοποιώντας τη συσκευή ως διασύνδεση.

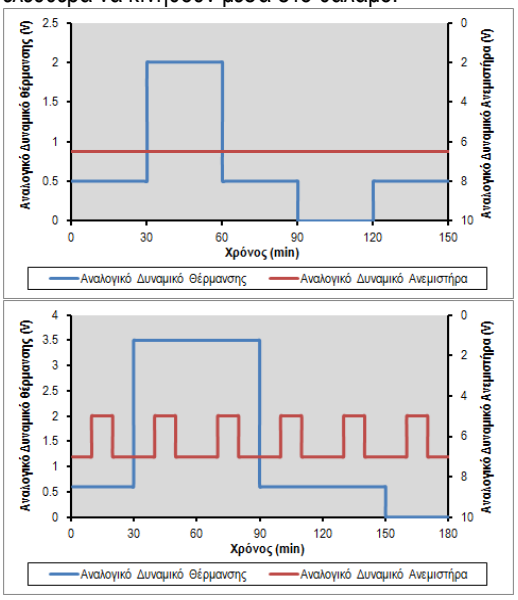
Τέλος, μία κάμερα Sony HDR-CX560VE χρησιμοποιήθηκε για την καταγραφή της κινητικότητας των κοτόπουλων ως απόκριση στις μεταβολές στο ρυθμό θέρμανσης και αερισμού. Η κάμερα είχε εγκατασταθεί 0.85m πάνω από την οροφή του θαλάμου και λειτουργούσε με συχνότητα 25 frames per second και ανάλυση 1440x1080 pixels.

2.2. Πειράματα

Πραγματοποιήθηκαν δύο τύποι πειραμάτων. Στον πρώτο, στόχος ήταν να εξετασθούν οι αποκρίσεις κινητικότητας σε βηματικές μεταβολές στη ηλεκτρική ισχύ για σταθερό ρυθμό αερισμού (Διάγραμμα 2.1.).

Στο δεύτερο, στόχος ήταν να εξετασθούν οι αποκρίσεις κινητικότητας σε βηματικές μεταβολές στη θερμική ισχύ για διαφορετικές βηματικές μεταβολές στο ρυθμό αερισμού (Διάγραμμα 2.1.). Έτσι, η κινητικότητα των κοτόπουλων μπορούσε να εξετασθεί κάτω από συνθήκες θερμικής άνεσης, καταπόνησης λόγω ζέστης και καταπόνησης λόγω κρύου.

Τα πειράματα έγιναν πάνω σε διαφορετικές ομάδες 9 κοτόπουλων κρεατοπαραγωγής (εκτροφή: Ross 308). Οι ηλικίες που εξετάσθηκαν ήταν 4 και 5 ημερών. Κάθε πειραματική εκτέλεση λάμβανε χώρα με διαφορετική ομάδα πτηνών τα οποία ήταν ελεύθερα να κινηθούν μέσα στο θάλαμο.



Διάγραμμα 2.1. Οι βηματικές μεταβολές του αναλογικού δυναμικού θέρμανσης και του αναλογικού δυναμικού του ανεμιστήρα για τις δύο πειραματικές εκτελέσεις.

2.3. Μέθοδοι Ανάλυσης

2.3.1. Επεξεργασία εικόνας

Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε ήταν το σύστημα Eyenamic που αναπτύχθηκε από τους Leroy et al. (2008). Δύο παράμετροι εισήχθηκαν για τη μέτρηση της αντίδρασης των κοτόπουλων στους παράγοντες θέρμανσης και αερισμού: ο *δείκτης κινητικότητας* και ο *δείκτης επικάλυψης επιφανείας*. Ο δείκτης κινητικότητας αποτελεί μία μέτρηση του πώς οι εντάσεις των pixels διαφέρουν μεταξύ διαδοχικών λήψεων και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση της κινητικότητας. Ο δείκτης επικάλυψης επιφανείας αντιπροσωπεύει το ποσοστό της επιφανείας του θαλάμου που καλύπτεται από τα κοτόπουλα. Και οι δύο δείκτες ορίζονται για κάθε χρονική στιγμή και για τις ανάγκες υπολογισμού τους η επιφάνεια του θαλάμου χωρίστηκε σε 9 ίσες φανταστικές ζώνες

2.3.2. Προσέγγιση Μηχανιστικής Μοντελοποίησης Δεδομένων (DBM)

Η στρατηγική της μηχανιστικής μοντελοποίησης δεδομένων (DBM) μπορεί να χωριστεί σε διαφορετικές φάσεις οι οποίες εξετάζονται από τον Young (2011). Το πρώτο και σημαντικότερο βήμα είναι ο καθορισμός των στόχων της ανάλυσης καθώς και του τύπου μαθηματικού μοντέλου που είναι κατάλληλο για την πραγματοποίηση των στόχων αυτών.

Πρώτος στόχος ήταν ο συσχετισμός των ζωνικών και ολικών δεικτών κινητικότητας και επικάλυψης επιφανείας με μεταβολές στη μέση ζωνική και ολική θερμοκρασία του θαλάμου που προκλήθηκαν από βηματικές μεταβολές (αύξηση και μείωση) στην καταναλωμένη ηλεκτρική ισχύ. Κατά τη βηματική αύξηση στην ηλεκτρική ισχύ, υπήρχε η πρόθεση τα κοτόπουλα να βιώσουν καταπόνηση λόγω ζέστης. Για κοτόπουλα 3 ημερών, αυτό συμβαίνει όταν αισθάνονται θερμοκρασίες υψηλότερες των 36°C (Cangar, 2011). Κατά τη βηματική μείωση στην ηλεκτρική ισχύ, υπήρχε η πρόθεση να βιώσουν καταπόνηση λόγω κρύου. Για κοτόπουλα 3 ημερών, αυτό συμβαίνει όταν αισθάνονται θερμοκρασίες χαμηλότερες των 33°C (Cangar, 2011).

Δεύτερος στόχος ήταν ο συσχετισμός των ζωνικών και ολικών δεικτών κινητικότητας και επικάλυψης επιφανείας με μία βηματική αύξηση του ρυθμού αερισμού τόσο όταν τα κοτόπουλα βίωναν κατάσταση καταπόνησης λόγω ζέστης όσο και κατάσταση καταπόνησης λόγω κρύου.

Τα δείγματα εικόνας και δεδομένων καταγράφονταν κάθε δευτερόλεπτο ή σε διακριτές χρονικές στιγμές υποδηλώνοντας ότι μία ιδανική κατηγορία μαθηματικών μοντέλων για την περιγραφή της συμπεριφοράς του συστήματος είναι τα μοντέλα Συναρτήσεων Μεταφοράς Διακριτού Χρόνου (Discrete-Time Transfer Function). Τα μοντέλα αυτά είναι ιδιαίτερα σημαντικά για αυτή την προσέγγιση μοντελοποίησης καθώς και για τον Έλεγχο Προβλεπτικού Μοντέλου (MPC) ενός συστήματος (Pedregal *et al.*, 2007). Για τις ανάγκες της παρούσας ανάλυσης χρειάζεται να χρησιμοποιηθεί ο τύπος μοντέλων μίας εισόδου, μίας εξόδου (SISO).

Η μοντελοποίηση πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας συγκεκριμένες συναρτήσεις του CAPTAIN Toolbox (Pedregal *et al.*, 2007) σε περιβάλλον εργασίας MATLAB. Για τον 1ο στόχο, η μεταβολή της μέσης θερμοκρασίας (ζωνικής και

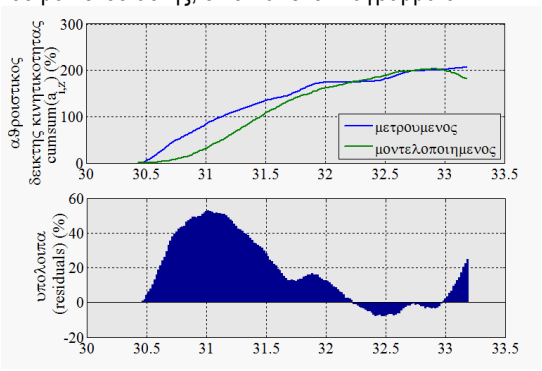
ολικής) τέθηκε ως μεταβλητή εισόδου, ενώ σαν μεταβλητές εξόδου τέθηκαν ο αθροιστικός δείκτης κινητικότητας και επικάλυψης επιφανείας. Για την εκπλήρωση του 2ου στόχου, η βηματική αύξηση του ρυθμού αερισμού τέθηκε ως μεταβλητή εισόδου, ενώ ξανατέθηκαν ως μεταβλητές εξόδου ο αθροιστικός δείκτης κινητικότητας και επικάλυψης επιφανείας. Δύο στατιστικά κριτήρια χρησιμοποιήθηκαν για την ταυτοποίηση των κατάλληλων μοντέλων, ο Συντελεστής Προσδιορισμού R_T^2 και το Κριτήριο Ταυτοποίησης του Young (YIC). Επιπλέον, για την εγκυρότητα των μοντέλων χρησιμοποιήθηκαν τα διαγράμματα των εκτιμώμενων υπολοίπων των μοντέλων σε συνάρτηση του χρόνου. Περισσότερες πληροφορίες για την εκτίμηση των παραμέτρων των μοντέλων αυτών, τα κριτήρια ταυτοποίησής τους, καθώς και για την εγκυρότητά τους είναι διαθέσιμες στό βιβλίο του Young (2011).

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Η μεταβλητή αθροιστικός δείκτης κινητικότητας *cumsum*($a_i(k)$) (και ο αντίστοιχος δείκτης για την επικάλυψη επιφάνειας, *cumsum*($o_i(k)$) λόγω του ορισμού της αντιπροσωπεύει τη χρονική εξέλιξη του δείκτη κινητικότητας και η χρήση της σαν μεταβλητή εξόδου είναι ισοδύναμη με τη χρήση του δείκτη κινητικότητας.

3.1. Βηματική αύξηση και μείωση στην ηλεκτρική ισχύ

Για την χρονική περίοδο βηματικής αύξησης της ηλεκτρικής ισχύος που εξετάστηκε, παρατηρήθηκε ότι τα πτηνά κινούνται μόνο στις φανταστικές ζώνες κοντά στην πηγή θερμότητας. Παρόλα αυτά, η κινητικότητά τους ήταν χαμηλή. Το προσαρμοσμένο μοντέλο για μία από αυτές τις ζώνες και τα υπόλοιπα του μοντέλου αυτής, δίνονται στο Διάγραμμα 3.1.



Διάγραμμα 3.1. Ο μετρούμενος και ο μοντελοποιημένος αθροιστικός δείκτης κινητικότητας και το αντίστοιχο διάγραμμα υπολοίπων για μία από τις ζώνες κοντά στην πηγή θερμότητας.

Παρότι η προσαρμογή του μοντέλου είναι ικανοποιητική (R_T^2=89.43%), το μοντέλο δεν είναι έγκυρο εφόσον τα υπόλοιπα δε φαίνονται να κατανέμονται κανονικά γύρω από το μηδέν. Το ίδιο παρατηρήθηκε και για τις άλλες δύο ζώνες, όπως και στην περίπτωση του αθροιστικού δείκτη επικάλυψης επιφανείας *cumsum*($o_i(k)$). Το γεγονός ότι τα μοντέλα αυτά δεν είναι έγκυρα μπορεί να αποδοθεί στην πολύ μικρή χρονική περίοδο για την οποία έγινε η μοντελοποίηση, μέσα στην οποία τα κοτόπουλα δεν μπορούν αποκριθούν ξεκάθαρα στην αύξηση της θερμοκρασίας. Αυτό πιθανώς συμβαίνει λόγω της χαμηλής θερμορυθμιστικής τους δυνατότητας που οφείλεται στο μικρό της ηλικίας τους (Cangar, 2011). Έτσι, πιθανώς να χρειάζονται περισσότερο χρόνο έκθεσης σε συνθήκες καταπόνησης λόγω ζέστης για να ανταποκριθούν.

Για τη χρονική περίοδο βηματικής μείωσης της ηλεκτρικής ισχύος, παρατηρήθηκε ότι στις ζώνες κοντά στην πηγή θερμότητας υπήρχε αυξητική τάση της κινητικότητας των κοτόπουλων για τα πρώτα 4-5 λεπτά μετά την εφαρμογή της μεταβολής και τάση μείωσης από εκεί και μετά. Επιπλέον, όλες οι ζώνες ήταν ομοιόμορφα καλυμμένες αλλά κοντά στο τέλος της περιόδου μοντελοποίησης παρατηρήθηκε συγκέντρωση των κοτόπουλων στις ζώνες κοντύτερα στην εισροή αέρα, συμπεριφορά που αναμενόταν. Σχεδόν όλα τα μοντέλα έδειξαν δυναμική απόκριση 1ης τάξης (αλλά διαφορετικές δομές μοντέλων) τόσο για τον αθροιστικό δείκτη κινητικότητας όσο και για αυτόν της επικάλυψης επιφανείας και σχεδόν όλα βρέθηκαν έγκυρα. Το έγκυρο μοντέλο που αντιστοιχεί στον ολικό αθροιστικό δείκτη κινητικότητας μπορεί να γραφεί ως εξής (R_T^2 = 0.983):

$$y(k) = -a_1 \cdot y(k-1) + b_3 \cdot u(k-3) + b_4 \cdot u(k-4) \quad (3.1.)$$

Στην εξίσωση (3.1.), *y(k)* είναι η μεταβλητή εξόδου του συστήματος (ολικός αθροιστικός δείκτης κινητικότητας) και *u(k)* η μεταβλητή εισόδου του συστήματος (μέση θερμοκρασία θαλάμου). Η τιμή της παραμέτρου a_1 αντιπροσωπεύει την επίδραση της κινητικότητας των κοτόπουλων, την προηγούμενη χρονική στιγμή, στην επιθυμία τους να μεταβάλουν τη κινητικότητά τους μέσα στο θάλαμο, την τρέχουσα χρονική στιγμή. Η τιμή της παραμέτρου b_3 αντιπροσωπεύει την επίδραση της μέσης θερμοκρασίας θαλάμου, 3 χρονικές στιγμές νωρίτερα, στην επιθυμία τους να μεταβάλουν τη κινητικότητά τους στο θάλαμο, την τρέχουσα χρονική στιγμή. Όμοια εξήγηση μπορεί να δοθεί και για την τιμή της παραμέτρου b_4.

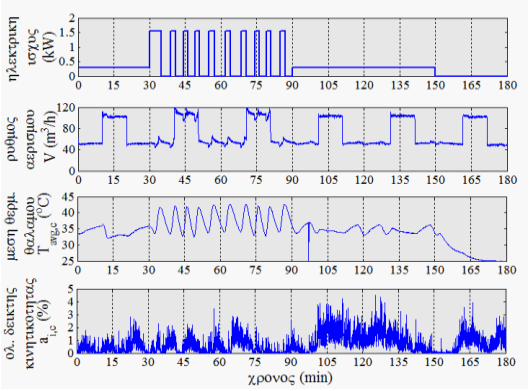
3.2. Βηματική αύξηση του ρυθμού αερισμού

Κάτω από συνθήκες καταπόνησης λόγω ζέστης, μετά την εφαρμογή της βηματικής αύξησης, δε φάνηκε να μεταβάλλεται η κινητικότητά τους σε καμία από τις ζώνες. Ήταν λοιπόν λογικό το γεγονός ότι κανένα από τα μοντέλα συσχέτισης τόσο του αθροιστικού δείκτη κινητικότητας όσο και αυτού της επικάλυψης επιφανείας με την βηματική αύξηση του ρυθμού αερισμού, δεν ήταν έγκυρο. Ξανά η μικρή περίοδος έκθεσης στο συνδυασμό αυξημένου ρυθμού αερισμού και υψηλής θερμοκρασίας μπορεί να θεωρηθεί ως μία σημαντική αιτία για την μη-εγκυρότητα των μοντέλων (Διάγραμμα 3.2).

Κάτω από συνθήκες καταπόνησης λόγω κρύου, τα περισσότερα μοντέλα που συσχετίζουν τον αθροιστικό δείκτη κινητικότητας με τη βηματική αύξηση του ρυθμού αερισμού είναι συναρτήσεις μεταφοράς 1ης τάξης, με υψηλούς R_T^2 και έγκυρα. Χαρακτηριστικό είναι το παράδειγμα του ολικού

αθροιστικού δείκτη κινητικότητας (R_T^2 = 0.960). Παρόλα αυτά η βηματική αύξηση του ρυθμού αερισμού δε φάνηκε να επιρρεάζει το δείκτη επικάλυψης επιφανείας (μη-έγκυρα μοντέλα), αλλά υπήρχε η τάση τα πτηνά να κινούνται για να έρθουν όσο το δυνατόν πιο κοντά, πιθανόν για να ελαττώσουν όσο το δυνατό περισσότερο την επιφάνεια του σώματός τους σε επαφή με τον αέρα.

Στην πράξη, έγινε ένα πρώτο βήμα πρόβλεψης της κινητικότητας από την ηλεκτρική ισχύ θέρμανσης και το ρυθμό αερισμού, ξεχωριστά, κάτω από συνθήκες καταπόνησης λόγω κρύου και για τις συγκεκριμένες πειραματικές συνθήκες. Σε πραγματικές συνθήκες παραγωγής, είναι απαραίτητη η συνεχής και ταυτόχρονη μέτρηση σε πραγματικό χρόνο και με αξιόπιστους αισθητήρες όλων των παραγόντων από τους οποίους εξαρτάται η κινητικότητα όπως και η συνεχής αναπροσαρμογή των μοντέλων πρόβλεψης, σύμφωνα με τις ανάγκες της διεργασίας που έχει ως κέντρο κάθε ζώο ξεχωριστά.



Διάγραμμα 3.2. Η χρονική εξέλιξη της μέσης θερμοκρασίας θαλάμου ($T_{avg,c}$) και του ολικού δείκτη κινητικότητας ($a_{i,c}$) σε σχέση με τις βηματικές μεταβολές της ηλεκτρικής ισχύος και του ρυθμού αερισμού.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Για τις περιόδους μοντελοποίησης κάτω από συνθήκες καταπόνησης λόγω ζέστης βρέθηκαν μοντέλα μη-έγκυρα, τόσο για την ηλεκτρική ισχύ όσο και για ρυθμό αερισμού ως μεταβλητές εισόδου. Αυτό αποδόθηκε στη μικρή χρονική περίοδο έκθεσης και στη χαμηλή θερμορυθμιστική ικανότητα των κοτόπουλων τόσο μικρής ηλικίας. Για τις περιόδους μοντελοποίησης κάτω από συνθήκες καταπόνησης λόγω κρύου βρέθηκαν 1ης τάξης συναρτήσεις μεταφοράς συσχέτισης του ολικού αθροιστικού δείκτη κινητικότητας τόσο με την ηλεκτρική ισχύ όσο και με τη ρυθμό αερισμού ως μεταβλητές εισόδου. Τα μοντέλα αυτά θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για σκοπούς Ελέγχου Προβλεπτικού Μοντέλου της κινητικότητας μέσα στον μικρό αυτό θάλαμο, λόγω του ότι είναι απλά και έχουν φυσική ερμηνεία. Παρόλα αυτά, πρόσθετα πειράματα στα οποία τα κοτόπουλα θα εκτίθενται σε μεγαλύτερες χρονικές περιόδους καταπόνησης λόγω ζέστης είναι απαραίτητα για την εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων.

Η προσαρμογή των πειραμάτων σε πραγματικές συνθήκες παραγωγής και η ενδεχόμενη προσθήκη επιπλέον παραμέτρων (π.χ. σχετική υγρασία, πυκνότητα ζωικού κεφαλαίου), θα μπορούσε να οδηγήσει σε μοντέλα πρόβλεψης βάσει των οποίων η καταγραφή της κινητικότητας και της επικάλυψης επιφανείας θα κινητοποιεί αυτόματο σύστημα ρύθμισης των παραμέτρων αυτών με στόχο τη συνεχή θερμική άνεση των πτηνών.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Aerts, J.M., Berckmans, D., Saevels, P., Decuypere, E., Buyse, J., 2000. Modelling the static and dynamic responses of total heat production of broiler chickens to step changes in air temperature and light intensity. British Poultry Science 41, 651-659.

Aerts, J.M., Van Buggenhout, S., Vranken, E., Lippens, M., Buyse, J., Decuypere, E., Berckmans, D., 2003a. Active control of the growth trajectory of broiler chickens based on online animal responses. Poultry Science 82, 1853-1862.

Aerts, J.M., Wathes, C.M., Berckmans, D., 2003b. Dynamic data-based modelling of heat production and growth of broiler chickens: Development of an integrated management system. Biosystems engineering 84, 257-266.

Bizeray, D., Estevez, I., Leterrier, C., Faure, J.M., 2002. Influence of increased environmental complexity on leg condition, performance, and level of fearfulness in broilers. Poultry Science 81, 767-773.

Cangar, Ö., 2011. Monitoring and control applications in determination of health and welfare related behavioural aspects of livestock. Department of Biosystems. Katholieke Universiteit Leuven, Leuven, p. 244.

Kristensen, H.H., Aerts, J.M., Leroy, T., Wathes, C.M., Berckmans, D., 2006. Modelling the dynamic activity of broiler chickens in response to step-wise changes in light intensity. Appl Anim Behav Sci 101, 125-143.

Leroy, T., Borgonovo, F., Costa, A., Aerts, J.M., Guarino, M., Berckmans, D., 2008. Real-time measurement of pig activity in practical conditions. Livestock Environment VIII : ASABE 8. International Symposium. ASABE, pp. 12 - 12.

Pedregal, D.J., Taylor, C.J., Young, P.C., 2007. System Identification, Time Series Analysis and Forecasting. The Captain Toolbox. Lancaster University, Lancaster, United Kingdom.

Prayitno, D.S., Phillips, C.J.C., Stokes, D.K., 1997. The effects of color and intensity of light on behavior and leg disorders in broiler chickens. Poultry Science 76, 1674-1681.

Young, P.C., 2006. The data-based mechanistic approach to the modelling, forecasting and control of environmental systems. Annual Reviews in Control 30, 169-182.

Young, P.C., 2011. Recursive Estimation and Time-Series Analysis. An Introduction for the Student and Practitioner. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg.

ΑΥΤΟΜΑΤΗ ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗ ΤΥΠΟΥ ΜΙΓΜΑΤΟΣ ΒΕΝΖΙΝΗΣ – ΒΙΟΑΛΚΟΟΛΩΝ ΣΕ ΤΕΤΡΑΧΡΟΝΟ ΚΙΝΗΤΗΡΑ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΚΑΥΣΗΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΑΞΙΝΟΜΗΤΩΝ ΠΡΟΤΥΠΟΥ

Ξανθούλα-Ειρήνη Πανταζή[1], Δημήτριος Μόσχου[1], Δημήτριος Κατέρης[1], Ιωάννης Γράβαλος[2], Παναγιώτης Ξυραδάκης[1]

[1]Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Γεωπονική Σχολή, Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας, Εγνατίας ΡΟ 275 ,Τ.Κ 54124, Θεσσαλονίκη

[2] Τ.Ε.Ι. Λάρισας,Σχολή Τεχνολογίας Γεωπονίας,Τμήμα Μηχανικής Βιοσυστημάτων, Τ.Κ 41110, Λάρισα

Στην παρούσα μελέτη, περιγράφεται αναλυτικά η πειραματική διερεύνηση της συμπεριφοράς των δονήσεων ενός μονοκύλινδρου τετράχρονου κινητήρα εσωτερικής καύσης τροφοδοτούμενου με μίγματα βενζίνης, αιθανόλης και μεθανόλης με εφαρμογή Ταξινομητών Προτύπου(PatternClassifiers). Χρησιμοποιήθηκαν οι τρείςπαρακάτω τύποι μίγματος καυσίμου: αμόλυβδη βενζίνη ως βασικό καύσιμο για τη σύγκριση μίγματος των δύο αλκοολών, αιθανόλη και μεθανόλη σε ανάμιξη με βενζίνη σε ποσοστό αναλογίας της τάξεως 10%, 20% και 30%.Στον κινητήρα πραγματοποιήθηκαν δοκιμές στα 1000, 1300, 1600 και 1900 rpm. Η συλλογή των μετρήσεων έγινε από τριαξονικόεπιταχυνσιόμετρο. Χαρακτηριστικά στοιχεία ως προς το χρόνο και τη συχνότητα υπολογίστηκαν από τα σήματα τα οποία ελήφθησαν. Χρησιμοποιήθηκαν τέσσερις ταξινομητές (Γραμμική Διακρίνουσα, Τετραγωνική Διακρίνουσα, Ταξινομητής τύπου Bayes, Ταξινομητής Πλησιέστερης Γειτνίασης). Οι ταξινομητές είχαν τη δυνατότητα να αναγνωρίσουν το τύπο του μίγματος σε τρεις κατηγορίες ως εξής: το διαχωρισμό της αμόλυβδης βενζίνης από το μίγμα καυσίμου αμόλυβδης βενζίνης-μεθανόλης και του μίγματος αμόλυβδης βενζίνης-αιθανόλης αντίστοιχα. Επιπλέον, κατέστη δυνατή η διάγνωση της αναλογίας του μίγματος ως προς το ποσοστό αναλογίας πρόσμιξης αμόλυβδης βενζίνης –βιοαλκοόλης με διαχωρισμό σε επτά κατηγορίες. Ο Διαχωρισμός σε τρεις κατηγορίες έδωσε καλύτερα αποτελέσματα σε ό,τι αφορούσε την αναγνώριση της αμόλυβδης βενζίνης, ενώ από την άλλη, ο Διαχωρισμός σε επτά κατηγορίες ήταν ιδιαίτερα αποτελεσματικός ως προς την αναγνώριση του ποσοστού των αναλογιών πρόσμιξης.

Λέξεις κλειδιά: δόνηση, μίγμα καυσίμου, βιοκαύσιμο, μηχανική εκμάθηση

AUTOMATIC IDENTIFICATION OF GASOLINE- BIOALCOHOL MIXTURE TYPE IN FOUR STROKE INTERNAL COMBUSTION ENGINES USING PATTERN CLASSIFIERS

Xanthoula-Eirini Pantazi[1], Dimitrios Moshou[1], Dimitrios Kateris[1], Ioannis Gravalos[2], Panagiotis Xyradakis[1]

[1]Aristotle University of Thessaloniki, School of Department of Hydraulics, Soil Science and Agriculture Engineering, Laboratory of Agricultural Engineering, P.0 275 54 124, Thessaloniki, Greece

[2]Technological Educational Institute of Larissa, School of Agricultural Technology, Department of Biosystems Engineering, Larissa 41110, Greece

renepantazi@gmail.com, dmoshou@auth.gr

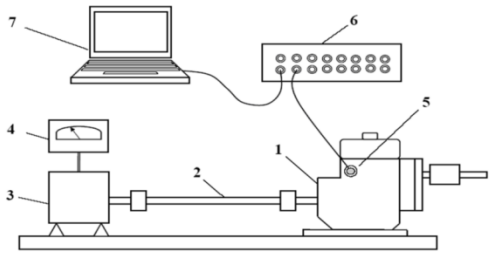
In this study, detailed experimental investigation of the vibrational behavior of a single-cylinder four-stroke internal combustion engine fueled with blends of gasoline, ethanol and methanol by applying Pattern Classifiers is carried out. Three types of the fuel were utilized: unleaded gasoline base fuel as compared to the mixture of the two alcohols, ethanol and methanol in admixture with gasoline as a percentage ratio of around 10%, 20% and 30%. The motor tests were performed at 1000,1300, 1600 and 1900 rpm. The measurements were received by a triaxial accelerometer. Features related to time and frequencies were calculated from the recorded signals. Four Pattern Classifiers were used Linear Discriminant Classifier, Quadratic Discriminant Classifier, Naive Bayes Classifier, and Nearest-Neighbor Classifier). These Classifiers were capable of recognizing the mixture type into three categories as follows: the separation of unleaded gasoline from the unleaded gasoline-methanol mixture and the mixture of unleaded gasoline and ethanol respectively. The separation in three categories gave better results concerning the recognition of unleaded gasoline, while the separation in seven categories was particularly effective regarding the percentage ratio of alcohol-gasoline admixture.

Keywords: vibration, fuel blend, biofuel, machine learning

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα βιοκαύσιμα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε έναν αριθμό τρόπων. Μία δυνατότητα που υπάρχει αφορά την παραγωγή υγρών ή αέριων βιοκαυσίμων τα οποία μπορούν να τροφοδοτηθούν σε κινητήρες που χρησιμοποιούν συμβατικά ορυκτά καύσιμα. Τα βιοκαύσιμα περιλαμβάνουν επίσης αλκοόλες, όπως αιθανόλη και μεθανόλη. Η σακχαρόζη και το άμυλο μπορούν να μετατραπούν σε αιθανόλη με υδρόλυση και ζύμωση. Υπάρχει επίσης η δυνατότητα μετατροπής ζάχαρης σε αιθανόλη με ζύμωση είτε από τυρόγαλο και άμυλο, ή ζάχαρη από απόβλητα (Prasad et al., 2007). Η μεθανόλη μπορεί να παραχθεί με αποδεκτό κόστος ενέργειας μέσω αερίου σύνθεσης από syngas ή βιομάζα η οποία παράγεται από γλυκερίνη (Huber et al., 2006). Επιπλέον, το μεθάνιο μπορεί να μετατραπεί απευθείας σε μεθανόλη (Cantrell et al, 2008). Τα μίγματα βενζίνης-αλκοολών αποτέλεσαν αντικείμενο έρευνας στη δεκαετία του 1980 και έχει αποδειχθεί ότι τα μίγματα αιθανόλης και μεθανόλης και βενζίνης ήταν τεχνικά αποδεκτά για την υπάρχουσα τεχνολογία κινητήρων SI. Οι Abdel-Rahman και

Osman (1997) διεξήγαγαν δοκιμές απόδοσης χρησιμοποιώντας διαφορετικά ποσοστά αιθανόλης έχοντας ως βασικό καύσιμο βενζίνη, μέχρι 40% κατ 'όγκο, υπό μεταβλητές αναλογίες συμπίεσης. Ο Al-Hasan (2002) έδειξε ότι η ανάμιξη αμόλυβδης βενζίνης με αιθανόλη αύξησε την ισχύ πέδησης, τη ροπή, την ογκομετρική και θερμική απόδοση υπό πέδηση και την κατανάλωση καυσίμου, ενώ μειώθηκε το φρένο ειδικής κατανάλωσης του καυσίμου και της ισοδυναμίας του ποσοστού αναλογίας μεταξύ αέρα-καυσίμου. Αν και οι επιπτώσεις από τη χρήση αλκοολών για την απόδοση του κινητήρα ανάφλεξης με σπινθήρα και των εκπομπών αυτού έχουν διερευνηθεί διεξοδικά, έχει γίνει πολύ λίγη έρευνα όσο αφορά συμπεριφορά των δονήσεων του κινητήρα. Οι Othmanetal. (Othman et al., 1998) διερεύνησαν τις δονήσεις που παράγονται από διάφορους τύπους καυσίμου, όπως η κηροζίνη, το φυσικό αέριο, το μείγμα ελαίου, η μεθανόλη, και το μίγμα μεθανόλης-κηροζίνης, χρησιμοποιώντας ένα απλό μηχανισμό αεροσυμπιεστή και φόρτιση δυναμόμετρου. Τα μοτίβα δόνησης για όλο το εύρος των συνθηκών λειτουργίας λήφθηκαν με ένα αναλυτή φάσματος πραγματικού χρόνου. Ακόμα, διαπιστώθηκε ότι οι ταλαντώσεις καύσης αυξήθηκαν με την αναλογία άνθρακα-υδρογόνου στο καύσιμο. Επιπλέον, παρατηρήθηκε ότι η συχνότητα και το πλάτος των θεμελιωδών αρμονικών μειώθηκαν με την αύξηση του φορτίου. Απεδείχθη ότι τα επίπεδα δονήσεων που επάχθηκαν από την καύση σε μια μηχανή θα μπορούσαν να προβλεφθούν για ταχύτητες και καύσιμα εκτός σχεδιασμού. Αυτό θα μπορούσε να είναι χρήσιμο για σχεδιασμό και διαγνωστικούς σκοπούς. Ο Keskin (2010), ερεύνησε τα αποτελέσματα των μιγμάτων αιθανόλης-βενζίνης-ελαίου σχετικά με τα χαρακτηριστικά δόνησης του κινητήρα ανάφλεξης με σπινθήρα, καθώς και τις εκπομπές του θορύβου. Τα πειραματικά αποτελέσματα έδειξαν ότι όταν χρησιμοποιήθηκαν μίγματα καυσίμων, τα πλάτη δόνησης και οι εκπομπές θορύβου του κινητήρα έδειξαν μια αυξανόμενη τάση ειδικά στα 1500 και 2500 rpm. Ο συγγραφέας συμπέρανε ότι τα αποτελέσματα πιθανόν οφείλονται στην περιεκτικότητα οξυγόνου



Εικόνα 1: Πειραματική Διάταξη (Gravalos et al. 2013): (1) Κινητήρας, (2) Άξονας, (3)Υδραυλικό Δυναμόμετρο, (4) Μονάδα Ελέγχου Δυναμόμετρου, (5) Τριαξονικό Πιεζοηλεκτρικό Επιταχυνσιόμετρο, (6) Αναλυτής Δονήσεων, (7) Φορητός Υπολογιστής.

και στην υψηλότερη λανθάνουσα θερμότητα εξατμίσεως της αιθανόλης, λόγω της οποίας η αύξηση του συντελεστή πίεσης και οι μέγιστες τιμές πίεσης στον κύλινδρο αυξάνονται κατά τις διαδικασίες καύσης. Στους Gravalos et al. (2013) γίνεται αναγνώριση μίγματος αμόλυβδης βενζίνης από μίγμα βενζίνης με αλκοόλες (μεθανόλη και αιθανόλη) με βάση τη συμπεριφορά των δονήσεων. Κατά τους Gravalos et al. (2013) η προκαταρτική ανάλυση χρονοσειρών έδειξε ότι μεταξύ των περιπτώσεων μιγμάτων που εξετάστηκαν σημαντικές διαφορές σημάτων λαμβάνονται μόνο κατά τη διεύθυνση του κάθετου άξονα (z). Διαφορές σημάτων κατά τη διεύθυνση του στροφαλοφόρου ελαπτώνονται δραστικά ενώ οι διαφορές κατά τον άξονα των y (κάθετα στις παρειές) είναι σχεδόν ανύπαρκτες. Κύριος στόχος της παρούσας εργασίας, είναι η αναγνώριση του τύπου του καυσίμου μεταξύ αμόλυβδης βενζίνης, μεθανόλης και αιθανόλης και αναγνώρισης τόσο της καθαρής αμόλυβδης βενζίνης όσο και της αναλογίας πρόσμιξης αυτής με τις δύο αλκοόλες, μεθανόλη και αιθανόλη (σε αναλογία πρόσμιξης 10, 20 και 30%) κάνοντας χρήση Ταξινομητών Προτύπου (Pattern Classifiers).

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1. Πειραματική Διάταξη

Η πειραματική διάταξη η οποία χρησιμοποιήθηκε σε αυτή τη μελέτη αποτελούνταν από μια μηχανή εσωτερικής καύσης με ανάφλεξη σπινθήρα, ένα υδραυλικό δυναμόμετρο και έναν αισθητήρα δονήσεων συνδεδεμένο σε ένα υλικό απόκτησης σημάτων. Στην Εικόνα 1 παρουσιάζεται η πειραματική διάταξη που χρησιμοποιήθηκε.Αξιοποιήθηκαν τα δεδομένα τα οποία συλλέχθηκαν από τις δονήσεις που κατέγραψε το επιταχυνσιόμετρο κατά τη λειτουργία του κινητήρα και αφορούσαν την σύντηξη δεδομένων και ως προς τους τρείς άξονες. Η επιλογή αυτή πραγματοποιήθηκε διότι τα δεδομένα που προέκυπταν από τον κάθε άξονα του επιταχυνσιομέτρου, δεν ήταν δυνατόν να δώσουν ικανοποιητικά αποτελέσματα σχετικά με την ταυτόχρονη αναγνώριση της αμόλυβδης βενζίνης και των δύο αλκοολών με επιτυχή τρόπο.

Χρησιμοποιήθηκαν οι τρείς παρακάτω τύποι μίγματος καυσίμου: αμόλυβδη βενζίνη ως βασικό καύσιμο για τη σύγκριση μίγματος των δύο αλκοολών, αιθανόλη και μεθανόλη σε ανάμιξη με βενζίνη σε ποσοστό αναλογίας της τάξεως 10%, 20% και 30%. Στον κινητήρα πραγματοποιήθηκαν δοκιμές στα 1000, 1300, 1600 και 1900 rpm. Η συλλογή των μετρήσεων έγινε από τριαξονικά επιταχυνσιόμετρα τα οποία κάλυπταν τους τρεις άξονες x,y,z. Χαρακτηριστικά στοιχεία ωςπρος το χρόνο και τη συχνότητα υπολογίστηκαν από τα σήματα τα οποία ελήφθησαν.

2.2. Επεξεργασία Σήματος

Στην παρούσα εργασία, χρησιμοποιήθηκαν είκοσι τέσσερις (24) χαρακτηριστικές παράμετροι,

εκ των οποίων οι δώδεκα σχετίζονται με τη διάσταση του χρόνου (T1-T12), οι υπόλοιποι δώδεκα με τη διάσταση της συχνότητας (F1-F12) (Lei, He & Zi, 2008; Moshou, Kateris, Gravalos et al., 2010).

2.3. Ταξινόμηση κατά Bayes

Ο ταξινομητής προτύπων (pattern classifier) κατατάσσει το διάνυσμα μέτρησης στην τάξη που αποδοθεί στο αντικείμενο. Αυτό επιτυγχάνεται από την αποκαλούμενη συνάρτηση απόφασης $\hat{\omega}(.)$ η οποία απεικονίζει το χώρο μετρήσεων στο χώρο πιθανών τάξεων. Αφότου το z είναι ένα N- διάστατο διάνυσμα η συνάρτηση απεικονίζει το R^{N} στο Ω. Όμως, πρώτα θα πρέπει να εξαχθεί μια άλλη πιθανότητα. Η εκ των υστέρων πιθανότητα $P(\omega_k|z)$ είναι η πιθανότητα του να ανήκει ένα αντικείμενο στην τάξη k, δεδομένου ότι το διάνυσμα μέτρησης που συνδέεται με αυτό το αντικείμενο είναι το διάνυσμα μέτρησης z. Σύμφωνα με το θεώρημα Bayes για δεσμευμένες πιθανότητες έχουμε:

$$P(\omega_k \mid z) = \frac{p(z \mid \omega_k)P(\omega_k)}{p(z)} \qquad (1)$$

Εάν ένας τυχαίος ταξινομητής απονέμει μια τάξη σε ένα διάνυσμα μέτρησης το οποίο προέρχεται από ένα αντικείμενο με πραγματική τάξη ω_k τότε προκύπτει ένα κόστος $C(\hat{\omega}_i \mid \omega_k)$.Η εκ των υστέρων πιθανότητα ύπαρξης ενός τέτοιου αντικειμένου είναι $P(\omega_k|z)$. Οπότε η αναμενόμενη τιμή θα είναι:

$$R(\hat{\omega}_i \mid z) = E[C(\hat{\omega}_i \mid \omega_k) \mid z] = \sum_{k=1}^{K} [C(\omega_t \mid \omega_k) \mid z] \qquad (2)$$

Αυτή η ποσότητα αποκαλείται δεσμευμένο ρίσκο. Εκφράζει το αναμενόμενο κόστος $\hat{\omega}_i$της αποδιδόμενης τάξης σε ένα αντικείμενο του οποίου το διάνυσμα μέτρησης είναι z. Το δεσμευμένο ρίσκο μιας συνάρτησης απόφασης $\hat{\omega}$(z) είναι $R(\hat{\omega}(z) \mid z)$. Το συνολικό ρίσκο μπορεί να βρεθεί παίρνοντας το μέσο όρο του δεσμευμένου ρίσκου από όλα τα πιθανά διανύσματα μέτρησης.

$$R = E[R(\hat{\omega}(z) \mid z] = \int_z R(\hat{\omega}(z) \mid z)\, p(z) dz \qquad (3)$$

Ο βέλτιστος ταξινομητής είναι αυτός που έχει ελάχιστο ρίσκο R. Η συνάρτηση απόφασης που ελαχιστοποιεί το συνολικό ρίσκο είναι η ίδια που ελαχιστοποιεί το δεσμευμένο ρίσκο. Άρα ο ταξινομητής Bayes (Naïve Bayesian Classifier - Naivebc) παίρνει τη μορφή :

$$\hat{\omega}_{BAYES}(z) = \hat{\omega}_i \qquad (4)$$

Αυτό μπορεί να εκφραστεί πιο περιληπτικά ως εξής:

$$\hat{\omega}_{BAYES}(x) = \arg_{\omega \in \Omega} \min\{R(\omega \mid z)\} \qquad (5)$$

Η έκφραση argmin{ } παρέχει το στοιχείο Ω που ελαχιστοποιεί το R(ω|z).

2.4. Μέθοδος του Πλησιέστερου Γείτονα (Nearest neighbor method)

Η δεύτερη μέθοδος είναι η μέθοδος του πλησιέστερου γείτονα (Duda and Hart, 1973), η επονομαζόμενη και ως NN-d (Tax, 2001) ή KNNC (K-nearest neighbor classifier). Μπορεί να προέρχεται από μια τοπική εκτίμηση πυκνότητας από τον ταξινομητή του πλησιέστερου γύρω από ένα αντικείμενο προς δοκιμή z. Ο όγκος αυτού του χωρικού τομέα διογκώνεται μέχρι να συλλάβει k αντικείμενα από το σύνολο εκπαίδευσης. Η τοπική πυκνότητα υπολογίζεται κατόπιν από (Tax, 2001):

$$p_{NN}(z) = \frac{k / N}{V_k(|| z - NN_k^{tr}(z) ||)} \qquad (6)$$

Η μέθοδος αποφεύγει τη ρητή εκτίμηση πυκνότητας και χρησιμοποιεί μόνο αποστάσεις προς τον πρώτο πλησιέστερο γείτονα. Στην εκτίμηση πυκνότητας του πλησιέστερου γείτονα ένας χωρικός τομέας ο οποίος είναι συχνά μια υπερσφαίρα σε d διαστάσεις, επικεντρώνεται Όπου το NN_R^t είναι ο πλησιέστερος γείτονας k στο σύνολο εκπαίδευσης z και V_kείναι ο όγκος του χωρικού τομέα ο οποίος περιέχει το αντικείμενο.

2.5 Συναρτήσεις Γραμμικής Διάκρισης

Μια υπόθεση που διατυπώνεται συχνά είναι ότι τα δείγματα στο σύνολο εκπαίδευσης που μπορούν να ταξινομηθούν σωστά με γραμμικά όρια απόφασης. Στην περίπτωση αυτή, οι συναρτήσεις διάκρισης έχουν τη μορφή:

$$g_k(z) = w_k^T z + w_k \qquad (7)$$

Οι συναρτήσεις του τύπου αυτού ονομάζονται γραμμικές συναρτήσεις διάκρισης (linear discriminant functions) και προκύπτει ο Linear Discriminant Classifier (LDC).

2.6 Τετραγωνική Διακριτική Ανάλυση (Quadratic Discriminant Analysis (QDA))

Η τετραγωνική διακριτική ανάλυση (QDA), βασίζεται στον κανόνα απόφασης του Bayes. Ένα αντικείμενο ταξινομείται στην τάξη, η οποία μεγιστοποιεί την εκ των υστέρων πιθανότητα. Κάθε τάξη έχει ένα μοναδικό πίνακα συν-διακύμανσης και επιπλέον διαφορετικές πιθανότητες πυκνότητας τάξης (class density probabilities). Η πιθανότητα κατάταξης P_c για την τάξη c μεγέθους n_C ορίζεται μέσα από τις ακόλουθες εξισώσεις:

$$P_c = (x_{i,c} - \overline{x_c})^T \sum_c^{-1} (x_{i,c} - \overline{x_c}) + \ln(|\sum c|) - 2\ln(p_c)$$

$$\overline{x_c} = \frac{1}{n_c} \sum_{i=1}^{n_c} x_i \quad , \quad \sum c = \frac{1}{n_c} \sum_{i=1}^{n_c} (x_i - \overline{x_c})(x_i - \overline{x_c})^T$$

$$p_c = \frac{n_c}{n} \qquad (8)$$

Όπου το $\overline{x_c}$ αντιπροσωπεύει τη μέση τιμή της μεταβλητής i για τις τάξεις c, p είναι η εκ των προτέρων πιθανότητα και Σ ο πίνακας διακύμανσης.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 1) παρατίθενται τα ποσοστά επιτυχούς αναγνώρισης των τριών κατηγοριών καυσίμου.

Πίνακας 1. Επιτυχής Αναγνώρισης της αμόλυβδης βενζίνης, μεθανόλης και αιθανόλης από διαφορετικούς Ταξινομητές

Ταξινομητής	Επιτυχής Αναγνώριση Αμόλυβδης Βενζίνης (%)	Επιτυχής Αναγνώριση Μεθανόλης (%)	Επιτυχής Αναγνώριση Αιθανόλης (%)
LDC	76	67,2	62,2
QDC	82	62	56,7
NAIVEBC	64	68,8	13,8
KNNC	45,3	69,4	56,4

Στον Πίνακα 2 παρουσιάζονται ποσοστιαίες εκτιμήσεις επιτυχούς αναγνώρισης της αμόλυβδης βενζίνης και του ποσοστού πρόσμιξης των μιγμάτων της μεθανόλης και της αιθανόλης με την αμόλυβδη βενζίνη σε ποσοστά αναλογίας 10, 20 και 30%.Στον πίνακα παρατίθενται τα ποσοστά επιτυχούς αναγνώρισης των τριών κατηγοριών καυσίμου.

Πίνακας 2. Επιτυχής Αναγνώρισης της καθαρής αμόλυβδης βενζίνης και των μιγμάτων αμόλυβδης βενζίνης-μεθανόλης καιαμόλυβδης βενζίνης-αιθανόλης σε ποσοστά πρόσμιξης 10,20 και 30% αντίστοιχα από διαφορετικούς Ταξινομητές

Ταξινομητής	Επιτυχής Αναγνώριση αμόλυβδης Βενζίνης (%)	Επιτυχής Αναγνώριση αμ. βενζίνης-μεθανόλης10(%)	Επιτυχής Αναγνώριση αμ. βενζίνης-μεθανόλης 20(%)	Επιτυχής Αναγνώριση αμ. βενζίνης-μεθανόλης 30(%)
LDC	73	55,64	44,73	11,4
QDC	71,65	48,22	46,86	11,61
NAIVEBC	50,42	37,87	62,56	3,14
KNNC	52,83	39,85	42,83	9,93

Ταξινομητής	Επιτυχής Αναγνώριση αμ. βενζίνης-αιθανόλης10(%)	Επιτυχής Αναγνώριση αμ. βενζίνης-μεθανόλης 20(%)	Επιτυχής Αναγνώριση αμ. βενζίνης-μεθανόλης 30(%)
LDC	29,5	46,45	27,8
QDC	11,92	51,36	50,63
NAIVEBC	2,62	9,73	7,85
KNNC	19,87	29,81	18,93

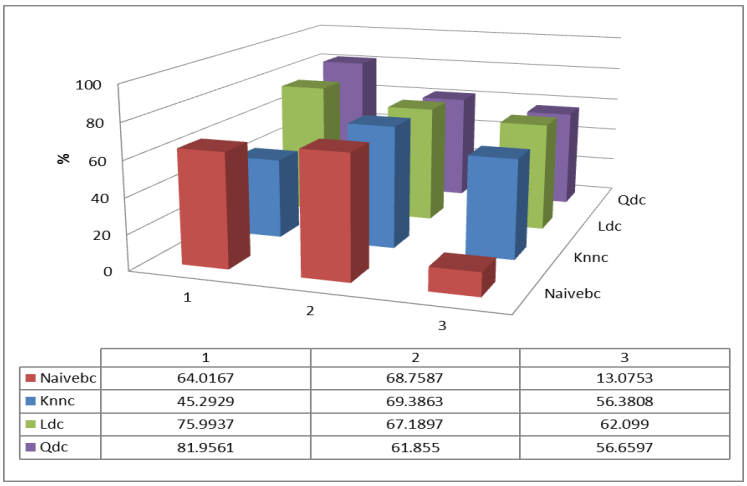
4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Στην εργασία Gravalos et al. (2013) γίνεται χρήση μόνο του άξονα z ενώ στην παρούσα εργασία γίνεται χρήση και των τριών αξόνων μέσω σύντηξης δεδομένων. Επίσης, στην εργασία Gravalos et al. (2013), σε σύγκριση με την παρούσα εργασία δεν γίνεται ταξινόμηση με βάση τα ποσοστά μιγμάτων σε 7 κατηγορίες αλλά ούτε και γίνεται αναφορά σε ποσοτικά αποτελέσματα για τον διαχωρισμό των μιγμάτων από την καθαρή αμόλυβδη βενζίνη.

Στο παρακάτω διάγραμμα (Εικόνα 2) η Στήλη με τον αριθμό 1, αντιπροσωπεύει την καθαρή αμόλυβδη βενζίνη και οι Στήλες με τους αριθμούς 2 και 3 την μεθανόλη και αιθανόλη αντίστοιχα. Παρατηρώντας τα αποτελέσματα του παραπάνω διαγράμματος συμπεραίνουμε ότι ο ταξινομητής Qdc μπορεί και αναγνωρίζει αρκετά καλά και τους τρεις τύπους καυσίμου. Επιπλέον παρατηρείται ότι ο ταξινομητής Naivebc αδυνατεί να αναγνωρίσει την αιθανόλη, ενώ οι ταξινομητές Ldc και Qdc αναγνωρίζουν την καθαρή αμόλυβδη βενζίνη σε αρκετά ικανοποιητικό ποσοστό. Τέλος, ο ταξινομητής Knnc θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως μέτριος ταξινομητής και αυτό γιατί αναγνωρίζει σε μέτριο βαθμό τους τρεις τύπους καυσίμου.

Τα αποτελέσματα όσο αφορά την καλύτερη ταξινόμηση της καθαρής αμόλυβδης βενζίνης είναι αναμενόμενα για τον Qdc και Ldc επειδή ως τάξη η καθαρή αμόλυβδη βενζίνη παρουσιάζει μεγαλύτερη ομοιογένεια σε σχέση με τα μίγματα βενζίνης-μεθανόλης, βενζίνης- αιθανόλης. Τα μίγματα βενζίνης-μεθανόλης, βενζίνης-αιθανόλης παρουσιάζουν μεγαλύτερη διασπορά χαρακτηριστικών επειδή σχηματίζονται από την ομαδοποίηση δεδομένων από τρία διαφορετικά δείγματα που περιέχουν διαφορετικό ποσοστό αλκοολών. Αυτό σημαίνει ότι ο διαχωρισμός αυτών των τάξεων είναι πιο απαιτητικός, δηλαδή ένας μη γραμμικός

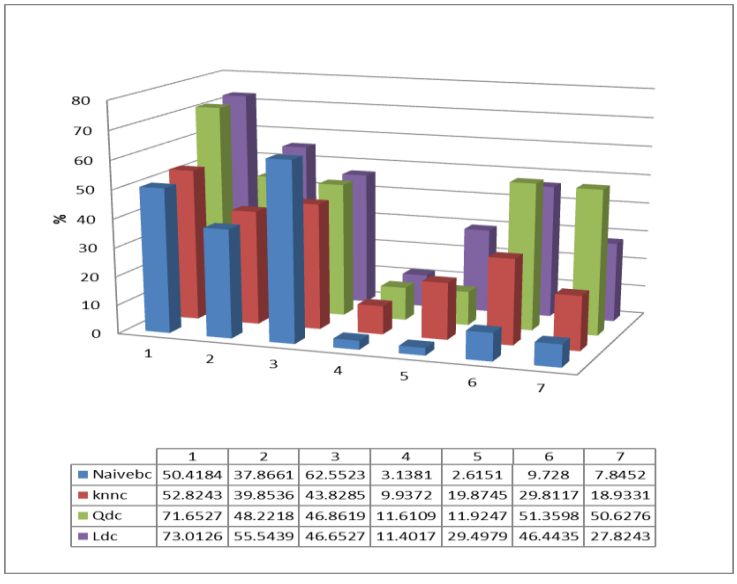
διαχωρισμός όπως αυτός της τετραγωνικής διακρίνουσας θα αναμενόταν να δώσει καλύτερα αποτελέσματα σε σχέση με το γραμμικό. Η παρουσία της καθαρής αμόλυβδης βενζίνης και ως χωριστή τάξη και ως συστατικό των μιγμάτων έχει ως συνέπεια η καλύτερη ταξινόμηση της βενζίνης από τον ταξινομητή Qdc να ελαττώνει τα ποσοστά στα μίγματα βενζίνης.



	1	2	3
Naivebc	64.0167	68.7587	13.0753
Knnc	45.2929	69.3863	56.3808
Ldc	75.9937	67.1897	62.099
Qdc	81.9561	61.855	56.6597

Εικόνα 2: Γραφική Απεικόνιση των ποσοστών επιτυχούς αναγνώρισης τύπου καυσίμου αμόλυβδης βενζίνης, μεθανόλης και αιθανόλης με εφαρμογή της Μεθόδου Αναγνώρισης Προτύπων με τρεις τάξεις (Pattern Recognition).

Στο παρακάτω διάγραμμα (Εικόνα 3) παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για τις 7 κατηγορίες μιγμάτων του Πίνακα 2. Παρατηρούμε ότι οι Μέθοδοι αναγνώρισης προτύπων παρουσιάζουν πολύ χαμηλή απόδοση στα μίγματα καθαρής αμόλυβδης βενζίνης-μεθανόλης σε αναλογία πρόσμιξης 30% και καθαρής αμόλυβδης βενζίνης-αιθανόλης σε αναλογία πρόσμιξης 10%. Αν εξαιρέσουμε αυτή την αστοχία ο ταξινομητής Qdc εμφανίζει καλύτερα αποτελέσματα σε σχέση με τους υπόλοιπους ταξινομητές. Από την άλλη, ο ταξινομητής Naivebc παρουσιάζει την χειρότερη απόδοση. Τα ποσοστά ταξινόμησης στην περίπτωση των 7 τάξεων μπορεί να είναι χαμηλά αλλά παρόλα αυτά χρήσιμα διότι δεν αντιπροσωπεύουν την ταξινόμηση διακριτών δειγμάτων αλλά προέρχονται από την ταξινόμηση δειγμάτων χρονοσειράς δονήσεων από συγκεκριμένο μίγμα οπότε αρκεί να προσδιοριστεί η τάξη στην οποία ανήκουν τα περισσότερα δείγματα ως ένδειξη της μέγιστης πιθανότητας να ανήκει το συγκεκριμένο δείγμα σε αυτή την τάξη. Συνεπώς μας ενδιαφέρει να προσδιορίσουμε την τάξη με την μεγαλύτερη πιθανότητα και να υπάρχει σαφής διαχωρισμός μεταξύ της τάξης αυτής και των υπολοίπων.



	1	2	3	4	5	6	7
Naivebc	50.4184	37.8661	62.5523	3.1381	2.6151	9.728	7.8452
knnc	52.8243	39.8536	43.8285	9.9372	19.8745	29.8117	18.9331
Qdc	71.6527	48.2218	46.8619	11.6109	11.9247	51.3598	50.6276
Ldc	73.0126	55.5439	46.6527	11.4017	29.4979	46.4435	27.8243

Εικόνα 3: Γραφική Απεικόνιση των ποσοστών αναγνώρισης του τύπου καυσίμου (αμόλυβδη βενζίνη, μεθανόλη, αιθανόλη) και της αναλογίας πρόσμιξης με εφαρμογή Αναγνώρισης Προτύπων με επτά τάξεις (Pattern Recognition)

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Κύριος στόχος της παρούσας εργασίας, είναι η αναγνώριση του τύπου του καυσίμου μεταξύ αμόλυβδης βενζίνης, μεθανόλης και αιθανόλης και αναγνώρισης τόσο της καθαρής αμόλυβδης βενζίνης όσο και της αναλογίας πρόσμιξης αυτής με τις δύο αλκοόλες, μεθανόλη και αιθανόλη (σε αναλογία πρόσμιξης 10, 20 και 30%) κάνοντας χρήση Ταξινομητών Προτύπου (Pattern Classifiers). Έγινε χρήση και επεξεργασία σημάτων δονήσεων από τα οποία εξήχθησαν χαρακτηριστικές στο πεδίο του χρόνου και της συχνότητας έτσι ώστε να γίνει δυνατή η ταξινόμηση από ταξινομητές προτύπων Οι ταξινομητές προτύπων έκαναν δυνατή τη διάγνωση της αναλογίας του μίγματος ως προς το ποσοστό αναλογίας πρόσμιξης αμόλυβδης βενζίνης – βιοαλκοόλης με διαχωρισμό σε επτά κατηγορίες. Ο Διαχωρισμός σε τρεις κατηγορίες έδωσε καλύτερα αποτελέσματα σε ό,τι αφορούσε την αναγνώριση της αμόλυβδης βενζίνης, ενώ ο Διαχωρισμός σε επτά κατηγορίες ήταν ιδιαίτερα αποτελεσματικός ως προς την αναγνώριση του ποσοστού των αναλογιών πρόσμιξης. Μελλοντικά σχέδια έρευνας αφορούν τη χρήση του συστήματος που παρουσιάστηκε για τη βελτιστοποίηση κινητήρων όσον αφορά την κατανάλωση και τις εκπομπές και την εφαρμογή σε πλατφόρμα πραγματικού χρόνου (μικροελεγκτή) για χρήση σε διαφορετικούς τύπους οχημάτων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Περιοδικά

Abdel-Rahman, A.A., Osman, M.M., 1997. Experimental investigation on varying the compression ratio of SI engine working under different ethanol-gasoline fuel blends, Int. J. Energy Res. 21:31-40.

Al-Hasan, M., 2002. Effect of ethanol–unleaded gasoline blends on engine performance and exhaust emission, Energy Conversion & Management. 44(9):1547–1561.

Cantrell, K.B., Ducey, T., Ro, K.S., Hunt, P.G., 2008. Livestock waste-to-bioenergy generation opportunities, Bioresource Technol. 99:7941-7953.

Gravalos, I., Loutridis, S., Moshou, D., Gialamas, T., Kateris, D., Tsiropoulos, Z., Xyradakis, P., 2013. Detection of fuel type on a spark ignition engine from engine vibration behavior. Applied Thermal Engineering, 54(1):171-175.

Huber, G.W., Iborra, S., Corma, A., 2006. Synthesis of transportation fuels from biomass: chemistry, catalysts, and engineering, Chem. Rev. 106:4044-4098.

Keskin, A., 2010. The influence of ethanol–gasoline blends on spark ignition engine vibration characteristics and noise emissions. Energy Sources, Part A, Recovery, Utilization, and Environmental Effects. 32:1851-1860.

Othman, M., Najjar, Y.S.H., Abou-Arab T.W., 1998. Fuel effect on induced vibration in gas turbine engines, Fuel. 69:321–326.

Prasad, S., Singh, A., JoshiH.C., 2007. Ethanol as an alternative fuel from agricultural, industrial and urban residues, Res. Conserv. Rec. 50:1–39.

Κεφάλαια βιβλίων

Duda, R. and Hart, P., 1973. Pattern Classification and Scene Analysis. John Wiley & Sons, New York.

Tax, D.M.J., 2001. One-Class Classification, Concept-learning in the absence of counter-examples, Ph.D. thesis Delft University of Technology, ISBN: 90-75691-05-x.

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΜΟΝΑΔΑΣ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗΣ ΩΣΜΩΣΗΣ ΥΠΟ ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

Ευάγγελος Δημητρίου*, Essam Mohamed, Γεώργιος Κυριακαράκος, Γεώργιος Παπαδάκης
Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής, Ιερά οδός 75, 118 55 Αθήνα, τηλ. 210 5294046 *email: vdimt@aua.gr

Τα συστήματα αφαλάτωσης με Αντίστροφη Ώσμωση (ΑΩ) αποτελούν μια πετυχημένη προσέγγιση στη λύση του προβλήματος της λειψυδρίας κυρίως σε απομακρυσμένες νησιωτικές ή παραθαλάσσιες περιοχές. Τα συστήματα αυτά πολλές φορές διασυνδέονται με συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Φωτοβολταϊκά και ανεμογεννήτριες παράγουν την ενέργεια που καταναλώνεται από τη μονάδα αφαλάτωσης. Οι μονάδες που βρίσκονται στην αιχμή της τεχνολογίας συνδυάζονται, πολλές φορές, και με συστήματα ανάκτησης της ενέργειας, που μπορούν να μειώσουν δραστικά την καταναλισκόμενη ενέργεια από τη μονάδα αφαλάτωσης. Στην βιβλιογραφία, επίσης, υπάρχουν αναφορές ότι η λειτουργία μιας μονάδας αφαλάτωσης σε μερικό φορτίο μπορεί να παρουσιάσει μεγαλύτερο βαθμό απόδοσης σε σχέση με τη λειτουργία της στην ονομαστική ισχύ.

Στην παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκε πειραματική αξιολόγηση της μονάδας αφαλάτωσης που υπάρχει εγκατεστημένη στο Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών σε λειτουργία μερικού φορτίου. Η πειραματική λειτουργία της μονάδος σε μερικό φορτίο επιτυγχάνεται μέσω μεταβαλλόμενων παραμέτρων (στροφών, πιέσεων και παροχών) της μονάδας ΑΩ. Για τον σκοπό αυτό ο κινητήρας, εναλλασσομένου ρεύματος εφοδιάστηκε με μετατροπέα συχνότητας, για τον έλεγχο των στροφών του.

Κατά την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων των μετρήσεων διαπιστώθηκε ότι υπάρχει η δυνατότητα λειτουργίας της μονάδας αφαλάτωσης σε μερικό φορτίο με παραγωγή νερού 60 l/h, αποδεκτής ποιότητας (<600 μS/cm) και με ειδική κατανάλωση ενέργειας κάτω από 6.5 kWh/m^3.

Εν γένει καταδεικνύεται ότι, σε μία απομακρυσμένη περιοχή, όπου οι ανάγκες ηλεκτρικής ενέργειας και πόσιμου νερού καλύπτονται από ένα μικροδίκτυο πολυπαραγωγής, η μονάδα ΑΩ, με κατάλληλο σχεδιασμό και διαχείριση, θα μπορούσε να λειτουργήσει σε μερικό τις ώρες αιχμής της ηλεκτρικής ενέργειας και σε πλήρες φορτίο τις υπόλοιπες ώρες, κατά τις οποίες η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας από την περιοχή είναι περιορισμένη.

Λέξεις Κλειδιά: Αφαλάτωση, Αντίστροφη Ώσμωση, μεταβλητές συνθήκες λειτουργίας.

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE PERFORMANCE OF A REVERSE OSMOSIS DESALINATION UNIT OPERATING UNDER VARIABLE CONDITIONS

Evangelos Dimitriou, Essam Mohamed, Georgios Kyriakarakos, Georgios Papadakis
Department of Natural Resources and Agricultural Engineering, Agricultural University of Athens, 75 Iera Odos Street, Athens 118 55, Greece. Tel. +30 210 5294046
vdimt@aua.gr, esamsh@aua.gr, gk@aua.gr, gpap@aua.gr

Reverse Osmosis (RO) desalination units constitute a successful technology for covering the potable water needs of islands and coastal regions. RO units can be combined with Renewable energy sources. Photovoltaic and Wind generators produce the energy consumed by the Desalination Unit. Conventional small scale RO units are not often combined with energy recovery devices; however, these devices can decrease drastically the energy consumption of the RO unit. Furthermore, in the literature there are references which prove that the operation of a desalination unit in part-load conditions can result in lower specific energy consumption compared to a full-load operation.

In the current paper, an experimental evaluation of an existing RO desalination unit, installed in the Laboratory of Agricultural Engineering of AUA, is realized in part-load operation. The experimental operation of the RO unit in part-load conditions is achieved via variable operation parameters such as the speed of the motor – pump assembly, the pressure and the feed water supply. In order for this to be achieved, the motor of the unit was equipped with a frequency converter to control its rotationa l speed.

During the evaluation of the measurements results, an optimum operational window (25 – 45 Hz) was drawn regarding the operation of a Desalination Unit in part-load conditions. More specifically, in this area the average value of fresh water production was 60 l/h with an acceptable fresh water electrical conductivity (< 600 μS/cm), and with a specific energy consumption bellow 6.5 kW/m^3.

In general, it is proven that, in remote areas, where the needs of electrical energy and potable water are satisfied by polygeneration microgrids, a RO Desalination Unit could operate periodically under a suitable planning and management program in full-load and in part-load conditions.

Key words: Desalination, Reverse Osmosis, variable operating conditions.

1. Εισαγωγή

Στην σημερινή εποχή, που η μείωση του διαθέσιμου νερού είναι έντονη, ιδιαίτερα σε πολλές περιοχές στον πλανήτη, εξ αιτίας της συνεχόμενης αύξησης του πληθυσμού, την χαμηλή ποιότητα, την αύξηση της ζήτησης φρέσκου νερού και την περιορισμένη διαθεσιμότητα από τις συμβατικές πηγές (ποτάμια και υπόγεια ύδατα) (Δεληγιάννη and Μπελεσιώτης 1995), η αφαλάτωση θαλασσινού νερού αναδεικνύεται σαν μια λύση στην αντιμετώπιση του προβλήματος, παρέχοντας πόσιμο νερό υψηλής ποιότητας. Όταν οι διεργασίες της αφαλάτωσης διασυνδεθούν με τεχνολογίες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ), τότε τα συστήματα γίνονται φιλικά προς το περιβάλλον και μπορούν να βοηθήσουν την ανάπτυξη αυτών των περιοχών.

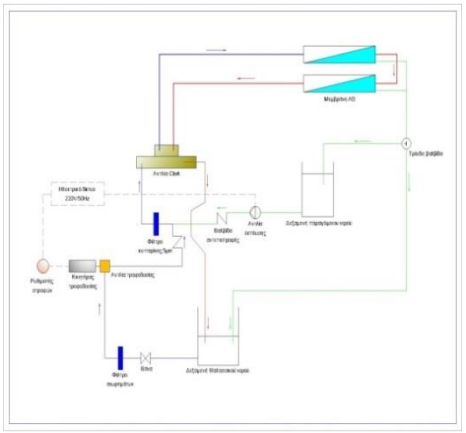
Όλες οι συμβατικές μέθοδοι αφαλάτωσης, οι οποίες απαιτούν ηλεκτρική ενέργεια για την λειτουργία τους, είναι ενεργοβόρες και συχνά πρέπει να εγκατασταθούν σε απομακρυσμένες περιοχές, οι οποίες αντιμετωπίζουν δυσκολίες στην παροχή ηλεκτροδότησης (Τζέν 2008). Αυτό συμβαίνει ιδιαίτερα σε νησιά και σε απομακρυσμένες περιοχές. Συστήματα αφαλάτωσης με αντίστροφη ώσμωση ΑΩ που τροφοδοτούνται από φωτοβολταϊκά και ανεμογεννήτριες μπορούν να χρησιμοποιηθούν στις περιοχές αυτές, για την παραγωγή πόσιμου νερού. Τα κύρια πλεονεκτήματα της ΑΩ είναι η χαμηλή κατανάλωση ενέργειας και οι λίγες απαιτήσεις για συντήρηση. Η προσέγγιση αυτή μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί και σε περιπτώσεις υφάλμυρου νερού (Δημητρίου 2012).

Επομένως, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και κυρίως τα φωτοβολταϊκά, που έχουν σχετικά χαμηλό κόστος και συγχρόνως δε ρυπαίνουν το περιβάλλον, δίνουν λύση στο πρόβλημα. Η ενσωμάτωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην αφαλάτωση είναι τεχνικά εφικτή και εφαρμόζεται όλο και περισσότερο σε παγκόσμιο επίπεδο (Τζέν 2010).

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι να πραγματοποιηθεί πειραματική αξιολόγηση μιας μονάδας αφαλάτωσης θαλασσινού νερού αντίστροφης ώσμωσης που λειτούργει σε μερικό φορτίο με σκοπό την βέλτιστη ενσωμάτωσή της σε τοπολογία μικροδικτύου πολυπαραγωγής (Kyriakarakos, Dounis et al. 2011). Με τη χρήση μετατροπέα συχνότητας γίνεται εφικτός ο έλεγχος της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα τροφοδοσίας και τελικά της αντλίας τροφοδοσίας. Κατά αυτό τον τρόπο μπορεί να διερευνηθεί η επίδραση των διαφόρων μεγεθών και παραμέτρων της μονάδας αφαλάτωσης (πίεση, παροχή και ηλεκτρική αγωγιμότητα αφαλατωμένου νερού καθώς και η ειδική κατανάλωση ενέργειας) σε διάφορες συχνότητες λειτουργίας του κινητήρα τροφοδοσίας. Η ανάλυση των αποτελεσμάτων της πειραματικής διερεύνησης της μονάδος αφαλάτωσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν με σκοπό τον βέλτιστο προγραμματισμό του εποπτικού συστήματος διαχείρισης της ενέργειας το οποίο ελέγχει το σημείο λειτουργίας της μονάδος αφαλάτωσης στην τοπολογία αυτή (Kyriakarakos, Dounis et al. 2012).

2. Περιγραφή πειραματικής διάταξης

Η μονάδα αφαλάτωσης αντίστροφης ώσμωσης (ΑΩ), η οποία είναι εγκατεστημένη στο εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών, ήταν εφοδιασμένη με κινητήρα συνεχούς ρεύματος (Mohamed 2009). Αρχικά έγινε αντικατάσταση του κινητήρα με κινητήρα εναλλασσομένου ρεύματος, ο οποίος εφοδιάστηκε με μετατροπέα συχνότητας για τον έλεγχο των στροφών του. Στην συνέχεια έγινε συντήρηση της μονάδας καθώς και έλεγχος ή αντικατάσταση στα διάφορα όργανα μέτρησης που χρησιμοποιήθηκαν. Τέλος σχεδιάστηκε και υλοποιήθηκε σύστημα καταγραφής δεδομένων από το οποίο έγινε αξιολόγηση της λειτουργίας της μονάδας σε μερικό φορτίο. Το σχηματικό διάγραμμα της μονάδας απεικονίζεται στην Εικόνα 1.



Εικόνα 1:Σχηματικό διάγραμμα της μονάδας ΑΩ

2.1 Δεξαμενή Τροφοδοσίας

Η δεξαμενή τροφοδοσίας είναι κατασκευασμένη από μαύρο πολυαιθυλένιο υψηλής πυκνότητας, χωρητικότητας 1 m^3. Στη δεξαμενή αυτή παρασκευάζεται το τεχνητό θαλασσινό νερό τροφοδοσίας αγωγιμότητας μS/cm, διαλύοντας χλωριούχο νάτριο (NaCl) στο νερό του δικτύου της πόλης.

2.2 Αντλία τροφοδοσίας

Η αντλία τροφοδοσίας αντλεί το νερό από την δεξαμενή τροφοδοσίας και το οδηγεί προς την μονάδα Α.Ω. διαμέσου των φίλτρων και επίσης παρέχει την πίεση που απαιτείται στην είσοδο της αντλίας Clark. Ο κινητήρας της αντλίας είναι μονοφασικός, ασύγχρονος, τετραπολικός, ισχύος 0.75 kW. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά της αντλίας και του κινητήρα φαίνονται στον Πίνακα 1.

Πίνακας 1: Τεχνικά χαρακτηριστικά του κινητήρα και της αντλίας τροφοδοσίας

Αντλία τροφοδοσίας	
Τύπος αντλίας	Περιστροφική
Μοντέλο	Fluid - o - tech PO700
Μέγιστη πίεση	16 bar
Παροχή σε 1450 rpm	800 L/h
Κινητήρας τροφοδοσίας	
Τύπος κινητήρα	CEG 80b - 4
Φάσεις κινητήρα	AC Μονοφασικός ασύγχρονος
Τάση κινητήρα	220 V
Ονομαστική ισχύς	750 W

2.3 Σύστημα προ-επεξεργασίας

Το σύστημα προ-επεξεργασίας αποτελείται από τρία φίλτρα, από τα οποία το πρώτο είναι φίλτρο κυτταρίνης άνθρακα για την απομάκρυνση του ελεύθερου χλωρίου που υπάρχει στο νερό της πόλης. Το δεύτερο φίλτρο είναι ένα 25μm φίλτρο αιωρημάτων για την συγκράτηση των αιωρούμενων σωματιδίων. Τέλος για την τελική φίλτρανση του νερού, πριν αυτό οδηγηθεί στην μονάδα Α.Ω., χρησιμοποιήθηκε ένα φίλτρο κυτταρίνης 5μm.

2.4 Ανακτητής υδραυλικής ενέργειας

Ο ανακτητής υδραυλικής ενέργειας της άλμης τύπου εναλλάκτη πιέσεως (Clark Pump), αντικαθιστά την αντλία υψηλής πίεσης σε μία συμβατική μονάδα αφαλάτωσης αντίστροφης ώσμωσης. Ο ανακτητής ενέργειας είναι μια εμβολοφόρος αντλία που ανυψώνει την πίεση του νερού στην κατάλληλη τιμή για να εισέλθει στην μεμβράνη. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά της αντλίας Clark παρουσιάζονται στον Πίνακας 2.

Πίνακας 2: Τεχνικά χαρακτηριστικά αντλίας Clark

Μοντέλο	Eco systems E - 25/590
Ονομαστική παροχή τροφοδοσίας	760 L/h
Ονομαστική παραγωγή νερου	90 L/h
Ονομαστική πίεση λειτουργίας	50 bar
Ονομαστική πίεση τροφοδοσίας	12 bar

2.5 Μεμβράνες

Η μονάδα αντίστροφης ώσμωσης Α.Ω. αποτελείται από δύο στοιχεία μεμβρανών σπειροειδούς περιέλιξης συνδεδεμένα σε σειρά με σκοπό την αύξηση του ποσοστού ανάκτησης του αφαλατωμένου νερού. Η μεμβράνη είναι η καρδία της μονάδας αφαλάτωσης ΑΩ και διαχωρίζει το εισερχόμενο νερό σε δύο ρεύματα, το αφαλατωμένο και το απορριπτόμενο (άλμη) νερό. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά των μεμβρανών ΑΩ φαίνονται στον Πίνακας 3.

Πίνακας 3: Τεχνικά χαρακτηριστικά των μεμβρανών

Τύπος μεμβρανοθήκης	Code line
Τύπος μεμβράνης	Filmtec SW 30-2540
Μέγιστη πίεση	69 bar
Μέγιστη θερμοκρασία νερού	45 ^{o}C
Μέγιστη παροχή τροφοδοσίας	1.4 m^3/h
Παροχή παραγόμενου νερού	83 L/h
Ικανότητα απόρριψης αλάτων	99.2%
Ανάκτηση ενός στοιχείου	8%

Πίνακας 4: Τεχνικά χαρακτηριστικά του ρυθμιστή στοφών

Ονομαστική ισχύς	1500 W
Ονομαστική Τάση	200 ~ 230 V
Ένταση ρεύματος	7 A
Μέγιστη συχνότητα	400 Hz

2.6 Ρυθμιστής στροφών (frequency converter)

Ο ρυθμιστής στροφών είναι ένας μικρής τάσης αναλογικός μετατροπέας ο οποίος μεταβάλλει την συχνότητα και κατ' επέκταση τις στροφές λειτουργίας του κινητήρα της αντλίας τροφοδοσίας. Ο ρυθμιστής στροφών είναι συνδεδεμένος παράλληλα με τον κινητήρα τροφοδοσίας έτσι ώστε η συχνότητα λειτουργίας να μεταβάλλεται στο επιθυμητό επίπεδο. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του ρυθμιστή στροφών φαίνονται στον Πίνακας 4.

3. Πειραματική διερεύνηση

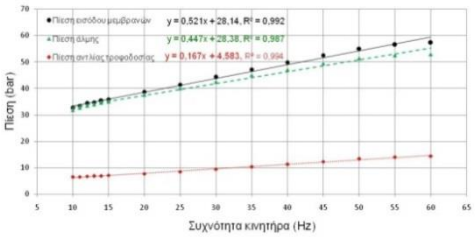
Σκοπός της πειραματικής διερεύνησης ήταν να διερευνηθεί η επίδραση της μεταβολής της συχνότητας λειτουργίας του κινητήρα της περιστροφικής αντλίας τροφοδοσίας στις διάφορους παραμέτρους της μονάδας ΑΩ (παροχή αφαλατωμένου νερού, ηλεκτρική αγωγιμότητα του παραγόμενου νερού, πίεση εισόδου - εξόδου μεμβρανών και ειδική κατανάλωση ενέργειας του κινητήρα της αντλίας τροφοδοσίας). Η συχνότητα λειτουργίας είναι μια χαρακτηριστική παράμετρος σε μονάδες ΑΩ που τροφοδοτούνται με ηλεκτρική ενέργεια απευθείας από πηγές που χαρακτηρίζονται με διακυμάνσεις όπως είναι τα συστήματα Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας και πιο συγκεκριμένα τα υβριδικά συστήματα καθώς και σε τοπολογίες μικροδικτύου πολυπαραγωγής.

Το πείραμα πραγματοποιήθηκε με την χρήση του ρυθμιστή στροφών που περιγράφτηκε παραπάνω. Το πείραμα ξεκίνησε με συχνότητα λειτουργίας υπό πλήρες φορτίο στα 60 Hz και ακολούθησαν μετρήσεις με μειωμένες, σταδιακά τιμές συχνότητας ανά 5 Hz μέχρι την συχνότητα των 10 Hz.

3.1 Πιέσεις της μονάδας αφαλάτωσης ΑΩ

Τα πειραματικά δεδομένα έδειξαν μία γραμμική σχέση μεταξύ της συχνότητας του κινητήρα και της πίεσης της αντλίας τροφοδοσίας με συντελεστή γραμμικής συσχέτισης 99.4% (Εικόνα 2). Στην ίδια εικόνα, επίσης, απεικονίζονται οι γραμμικές σχέσεις μεταξύ της συχνότητας του κινητήρα και της πίεσης στην είσοδο των μεμβρανών καθώς και της πίεσης της άλμης με συντελεστές γραμμικής συσχέτισης 99.2% και 98.7% αντίστοιχα.

Στην Εικόνα 2 παρατηρείται ότι η πίεση της αντλίας τροφοδοσίας μαζί με την πίεση της άλμης αυξάνουν την πίεση στην είσοδο των μεμβρανών. Το γεγονός αυτό οφείλεται στην παρουσία του ανακτητή υδραυλικής ενέργειας (Clark pump), κατά την λειτουργία του οποίου, η πίεση του νερού στη είσοδο των μεμβρανών ανυψώνεται με την βοήθεια της άλμης.

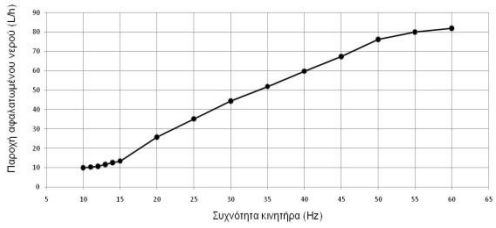


Εικόνα 2:Επίδραση της συχνότητας του κινητήρα στις πιέσεις της μονάδας ΑΩ

3.2 Παροχή αφαλατωμένου νερού

Η αύξηση της πίεσης στην είσοδο της μεμβράνης επηρεάζει την ροή του αφαλατωμένου νερού και η επίδραση της ασκούμενης πίεσης στην ροή του αφαλατωμένου νερού είναι γραμμική.

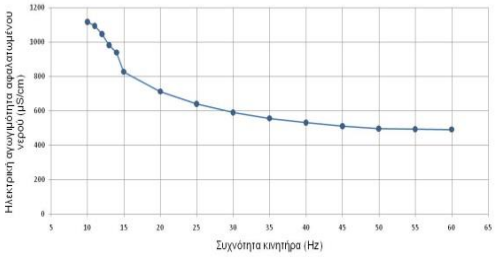
Στην Εικόνα 3 απεικονίζεται η επίδραση της μεταβολής της συχνότητας του κινητήρα στην παροχή του αφαλατωμένου νερού. Στην εικόνα αυτή φαίνεται ότι η παροχή του αφαλατωμένου νερού ακολουθεί μια γραμμική μεταβολή μέχρι την συχνότητα των 50 Hz, το οποίο ήταν αναμενόμενο όπως προαναφέρθηκε.



Εικόνα 3: Επίδραση της μεταβολής της συχνότητας του κινητήρα στην παροχή του αφαλατωμένου νερού

3.3 Ηλεκτρική αγωγιμότητα αφαλατωμένου νερού

Η αύξηση της πίεσης στην είσοδο της μεμβράνης αυξάνει την απόρριψη των αλάτων και μειώνει συνακόλουθα την ηλεκτρική αγωγιμότητα του αφαλατωμένου νερού. Επομένως όπως παρατηρείται στην Εικόνα 4 η αύξηση της συχνότητα του κινητήρα της αντλίας τροφοδοσίας και κατ' επέκταση η αύξηση της ασκούμενης πίεσης αυξάνει την απόρριψη των αλάτων, δηλαδή μειώνει την ηλεκτρική αγωγιμότητα του αφαλατωμένου νερού.



Εικόνα 4: Επίδραση της μεταβολής της συχνότητας του κινητήρα στην ηλεκτρική αγωγιμότητα του αφαλατωμένου νερού

3.4 Ειδική κατανάλωση ενέργειας

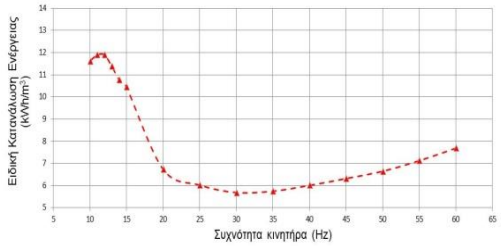
Η ειδική κατανάλωσης ενέργειας υπολογίστηκε με βάση την εξίσωση 1.

$$S_{EC} = \frac{E_m}{Q_p} \qquad \textbf{(1)}$$

Όπου, S_{EC} είναι η ειδική κατανάλωση ενέργειας (kWh/m^3), E_m είναι η καταναλισκόμενη ενέργεια από τον κινητήρα τροφοδοσίας (kWh) και Q_p είναι παραγόμενη ποσότητα αφαλατωμένου νερού (m^3).

Στην Εικόνα 5 απεικονίζεται η ειδική κατανάλωση ενέργειας της μονάδας ΑΩ. Στην Εικόνα 5 παρατηρείται ότι η ειδική κατανάλωση ενέργειας παρουσιάζει ελάχιστο στην περιοχή των 25 έως 45 Hz. Το γεγονός αυτό οφείλεται στο ότι η παροχή του αφαλατωμένου νερού στο συγκεκριμένο εύρος συχνοτήτων εμφανίζει ανοδική πορεία, ενώ οι αντίστοιχες καταναλώσεις της αντλίας τροφοδοσίας δεν είναι υψηλές. Κατά συνέπεια η περιοχή αυτή μπορεί να χαρακτηριστεί ως βέλτιστη για την

λειτουργία της μονάδας αφαλάτωσης υπό μερικό φορτίο.



Εικόνα 5:Επίδραση μεταβολής της συχνότητας του κινητήρα στην ειδική κατανάλωση ενέργειας

4. Συμπεράσματα

Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την παρούσα εργασία, θα μπορούσαν να αξιοποιηθούν ως προς την δυνατότητα των συνθηκών, ποιότητας παραγομένου νερού και της απόδοσης λειτουργίας μιας μονάδας ΑΩ, με στόχο την σκοπιμότητα ένταξής της σε ένα μικροδίκτυο.

- Η λειτουργία της μονάδας ΑΩ σε απομακρυσμένες περιοχές, οι οποίες εξυπηρετούνται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας ή από συνδυασμό αυτών, όπως μία τοπολογία μικροδικτύου πολυπαραγωγής, ενδείκνυται να γίνεται υπό μερικό φορτίο με την χρήση ρυθμιστή στροφών.
- Κατά την λειτουργία υπό μερικό φορτίο της μονάδας ΑΩ, η οποία τροφοδοτείται από ένα μικροδίκτυο, παρατηρείται μια βέλτιστη περιοχή λειτουργίας, κατά την οποία το παραγόμενο νερό είναι αποδεκτής ποιότητας (<1000 μS/cm) και ταυτόχρονα απαιτείται μικρότερη κατανάλωση ενέργειας. Η βέλτιστη αυτή περιοχή κυμαίνεται από 25 έως 45 Hz. Οι πιέσεις στην περιοχή αυτή κυμαίνονται από 41 έως 52 bar αντίστοιχα.
- Η χρήση ενός πιο σύγχρονου κινητήρα στην αντλία τροφοδοσίας μπορεί να μειώσει την καταναλισκόμενη ενέργεια (φαινόμενη ισχύ), μειώνοντας ταυτόχρονα και το κόστος του παραγόμενου νερού, λόγω του καλύτερου συντελεστή ισχύος που θα επιτευχθεί (~ 0.95).
- Σε μία απομακρυσμένη περιοχή που οι ανάγκες ηλεκτρικής ενέργειας και πόσιμου νερού καλύπτονται από ένα μικροδίκτυο, η μονάδα ΑΩ θα μπορεί να λειτουργεί σε μερικό φορτίο (25 ~ 45 Hz) τις ώρες αιχμής της ηλεκτρικής ενέργειας και σε πλήρες φορτίο τις υπόλοιπες ώρες που η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας από την περιοχή είναι περιορισμένη.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Kyriakarakos, G., A. I. Dounis, K. G. Arvanitis and G. Papadakis (2012). "A fuzzy cognitive maps–petri nets energy management system for autonomous polygeneration microgrids." Applied Soft Computing **12**(12): 3785-3797.

Kyriakarakos, G., A. I. Dounis, S. Rozakis, K. G. Arvanitis and G. Papadakis (2011). "Polygeneration microgrids: A viable solution in remote areas for supplying power, potable water and hydrogen as transportation fuel." Applied Energy **88**(12): 4517-4526.

Mohamed, E. S. (2009). Διερεύνηση Τεχνολογιών Ηλεκτροπαραγωγής από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας για Αφαλάτωση θαλασσινού νερού με Αντίστροφη Ώσμωση, Διαδακτορική Διατριβή, Τμήμα Αξιοποίηση Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών. Αθήνα.

Δεληγιάννη, Ε. and Β. Μπελεσιώτης (1995). Μέθοδοι και Συστήματα Αφαλάτωσης - Αρχές Διεργασιών Αφαλάτωσης. Αθήνα.

Δημητρίου, Ε. (2012). Πειραματική διερεύνηση μονάδας αφαλάτωσης αντίστροφης ώσμωσης υπό μεταβλητές συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας νερού τροφοδοσίας, Μεταπτυχιακή Διατριβή,Τμήμα Αξιοποίηση Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών. Αθήνα.

Τζέν, Ε. (2008) "Τεχνολογίες αφαλάτωσης για την παραγωγή πόσιμου νερού." The Economist Tech Bang, 55, 92 - 93.

Τζέν, Ε. (2010). Αφαλάτωση η λύση στη λειψυδρία. Ημερίδα “Αειφόρος Ανάπτυξη των νησιών του Αιγαίου: Βιώσιμη Διαχείρηση Υδατικών Πόρων”. Σύρος.

ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΤΟΥ ΧΕΙΜΕΡΙΝΟΥ ΞΥΛΟΥ ΣΕ ΑΜΠΕΛΩΝΑ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΣΑΡΩΤΗ ΛΕΙΖΕΡ

Α. Ταγαράκης[1], Β. Λιάκος[1], Αθ. Χατζηνίκος[1], Σπ. Φουντάς[1], Στ. Κουνδουράς[2] και Θ.Α. Γέμτος[1]
[1]Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας, Πανεπιστημίου Θεσσαλίας. Οδός Φυτόκου, 38446 Βόλος
[2] Εργαστήριο Αμπελουργίας, Γεωπονική Σχολή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Η χαρτογράφηση της ζωηρότητας των φυτών της αμπέλου παρέχει τη δυνατότητα αποτύπωσης της χωρικής παραλλακτικότητας του αμπελώνα στα πλαίσια εφαρμογής της Αμπελουργίας Ακριβείας. Στην παρούσα μελέτη, διερευνήθηκε η δυνατότητα χρήσης σαρωτή λέιζερ ως μία αυτοματοποιημένη, εύκολη και γρήγορη μέθοδος για τη χαρτογράφηση του χειμερινού ξύλου του αμπελώνα. Η μελέτη διεξήχθη κατά τη διάρκεια του 2010 και 2011, σε αμπελώνα 10 στρεμμάτων στη Θεσσαλία, εγκατεστημένο με την ποικιλία Αγιωργίτικο (*Vitis vinifera* L.). Αρχικά μετρήθηκε το τοπογραφικό ανάγλυφο χρησιμοποιώντας RTK-GPS (GPS-Ag 252, Trimble Ltd). Επίσης μετρήθηκαν το βάθους εδάφους και οι ιδιότητες του φυλλώματος με τη μέτρηση του δείκτη βλάστησης NDVI κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου χρησιμοποιώντας τον αισθητήρα CropCircle (ACS-210, Holland Scientific Inc.). Η χαρτογράφηση της παραγωγής πραγματοποιήθηκε κατά τη συγκομιδή με τη ζύγιση και γεωαναφορά των δοχείων τοποθέτησης των σταφυλιών κατά μήκος του αμπελώνα. Ένας σαρωτής λέιζερ (LMS 200 30106, SIC AG) χρησιμοποιήθηκε για τη χαρτογράφηση του χειμερινού ξύλου πριν από το κλάδεμα. Επιπλέον, ζυγίστηκε και χαρτογραφήθηκε το βάρος του ξύλου κλαδέματος. Οι μετρήσεις του σαρωτή λέιζερ έδειξαν σημαντική συσχέτιση με το βάρος των κληματίδων (r = 0,809 για το 2010 και r = 0,829 για το 2011, p <0,001), τις μετρήσεις NDVI (r = 0,510 και r = 0,504, αντίστοιχα, p <0,001) και την παραγωγή (r = 0,617 για το 2010 και r = 0,718 για το 2011, p <0.001). Τα αποτελέσματα αυτά δείχνουν ότι οι σαρωτές λέιζερ είναι πολλά υποσχόμενοι για το χαρακτηρισμό της παραλλακτικότητας της ζωηρότητας της αμπέλου.

Λέξεις κλειδιά: σαρωτή λέιζερ, αμπελουργία ακριβείας, χαρτογράφηση χειμερινού ξύλου

MAPPING OF PRUNING CANES IN GRAPEVINES USING LASER SCANNER

A. Tagarakis [1], V. Liakos [1], T.Chatzinikos [1], S. Fountas [1], S. Koundouras [2], T. Gemtos [1]
[1] Laboratory of Farm Mechanization, School of Agricultural Sciences, University of Thessaly, Fytoko str., 38446 N. Ioinia Magnisia, Greece
[2] Laboratory of Viticulture, School of Agriculture, Aristotle University of Thessaloniki, 54124 Thessaloniki, Greece
atagarak@uth.gr, bill.406@hotmail.com, sfountas@uth.gr, skoundou@agro.auth.gr, gemtos@agr.uth.gr

Mapping of grapevine vigour provides the ability to describe the spatial variability of vineyards in the framework of Precision Viticulture. In this study, we investigated the possibility of using a laser scanner as an automated, easy and fast method for mapping pruning wood in vineyards. The study was conducted during 2010 and 2011, in a 10 ha vineyard located in Thessaly planted with Agiorgitiko variety (*Vitis vinifera* L.). Field topography was initially measured using RTK-GPS (GPS-Ag 252, Trimble Ltd). Additionally, soil depth was estimated and canopy properties were assessed during the growing season by NDVI measurments using CropCircle sensor (ACS-210, Holland Scientific Inc.). Yield mapping was performed at harvest by weighing and georeferencing all plastic bins used to place the grapes along the vineyard. A laser scanner (LMS 200 30106, SIC AG) was used to map the winter canes prior to pruning. Moreover, pruning weight was recorded and mapped immediately after pruning. The laser scanner measurements showed significant correlation with pruning weight (r = 0.809 for 2010 and r = 0.829 for 2011, p <0.001), the NDVI measurements (r = 0.510 and r = 0.504 respectively, p <0.001) and yield (r = 0.617 for 2010 and r = 0.717 for 2011, p <0.001). These results indicate that laser scanners are a promising tool for characterizing the variability of vine vigor.

Key words: laser scanner, precision viticulture, pruning canes mapping

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η αμπελουργία ακριβείας είναι μια συνεχής κυκλική διαδικασία, η οποία περιλαμβάνει την παρακολούθηση της χωρικής παραλλακτικότητας των φυσικών, χημικών και βιολογικών μεταβλητών που σχετίζονται με την απόδοση της καλλιέργειας της αμπέλου (Bramley et al., 2003). Η χαρτογράφηση της παραλλακτικότητας των ιδιοτήτων του φυλλώματος αποτελεί ευρέως εφαρμοζόμενη πρακτική στην αμπελουργία ακριβείας. Η παραλλακτικότητα της ζωηρότητας της αμπέλου οφείλεται κυρίως στις μεταβολές της διαθεσιμότητας νερού και θρεπτικών (Tardaguila et al., 2011) και επηρεάζει την ποσότητα και την ποιότητα της παραγωγής, μεταβάλλοντας την κατανομή του ηλιακού φωτός και των προϊόντων της φωτοσύνθεσης στο φυτό (Hall et al., 2011). Η εκτίμηση δεικτών βλάστησης χρησιμοποιείται σε ευρεία κλίμακα στα πλαίσια εφαρμογής γεωργίας ακριβείας με τη βοήθεια αισθητήρων αντανάκλασης ακτινοβολίας (Stamatiadis et al., 2006). Μεταξύ των δεικτών βλάστησης, ο NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) είναι ο πιο διαδεδομένος και σχετίζεται με ιδιότητες του φυλλώματος όπως η περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη, η συνολική βιομάζα και η φυλλική επιφάνεια (Hansen & Schoerring 2003).

Μια από τις σημαντικότερες ιδιότητες του φυλλώματος είναι το μέγεθος και η πυκνότητα του. Πρόσφατες μελέτες επικεντρώθηκαν στην αξιολόγηση της γεωμετρίας της κόμης με τη χρήση συστημάτων σάρωσης με λέιζερ, με υπερήχους ή φασματικές κάμερες. Οι σαρωτές λέιζερ (laser scanners) παρέχουν τη δυνατότητα μέτρησης των γεωμετρικών χαρακτηριστικών των φυτών με ακρίβεια. Τελευταία, είναι εμπορικά διαθέσιμοι σαρωτές λέιζερ χαμηλού κόστους και υψηλής ανάλυσης οι οποίοι είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικοί στην εκτέλεση μετρήσεων αναρτώμενοι σε γεωργικά μηχανήματα (Rosell Polo et al., 2009).

Οι Van der Zande και άλλοι (2006) χρησιμοποίησαν LiDAR (Light Detection And Ranging) σαρωτή λέιζερ (SICK LMS 200) σε τεχνητά δέντρα καταλήγοντας στο συμπέρασμα ότι ήταν η καταλληλότερη μέθοδος για τη μέτρηση από το πλάι της κόμης. Σαρωτές λέιζερ έχουν χρησιμοποιηθεί σε δενδρώδεις καλλιέργειες για την εκτίμηση του ύψος δένδρων, της πυκνότητας και του όγκου της κόμης (Wei & Salyani, 2004). Στην αμπελουργία, σαρωτής λέιζερ LiDAR σε συνδυασμό με GPS έχει χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση των γεωμετρικών ιδιοτήτων της κόμης σε διαφορετικές ποικιλίες, με στόχο τον καθορισμό της κατάλληλης ροής ψεκαστικού υγρού για ψεκασμό σε μεταβλητές δόσεις (Llorens et al., 2011).

Σε πολυετείς γεωργικές καλλιέργειες όπως οι δενδρώδεις και η άμπελος, η μέτρηση του ξύλου κλαδέματος είναι σημαντικός δείκτης εκτίμησης της παραγόμενης βιομάζας και του κύκλου του άνθρακα. Στην αμπελουργία, η καταμέτρηση και ζύγιση του ετήσιου ξύλου κατά το κλάδεμα, αποτελεί μία πολύ αξιόπιστη μέθοδο για την εκτίμηση της ζωηρότητας των πρέμνων (Smart & Robinson, 1991). Η συνολική παραγωγή ξύλου έχει επίσης αναφερθεί ότι συσχετίζεται με τους δείκτες ανάκλασης σε αμπελώνες (Stamatiadis et al., 2006). Ωστόσο, η μέτρηση της βιομάζας ξύλου με καταστροφικές μεθόδους είναι δύσκολη και χρονοβόρα. Ως εκ τούτου, η δυνατότητα μιας ταχείας και άμεσης εκτίμησης του βάρους του χειμερινού ξύλου θα μπορούσε να προσφέρει μία εναλλακτική μέθοδο για την εκτίμηση της ζωηρότητας της αμπέλου στα πλαίσια εφαρμογής αμπελουργίας ακριβείας.

Οι Keightley και Badwen (2010) πραγματοποίησαν εργαστηριακές μετρήσεις με σαρωτή λέιζερ (terrestrial laser scanning - TLS), για την εκτίμηση της μόνιμης βιομάζας της αμπέλου (κορμό και βραχίονες) και επαλήθευσαν τα αποτελέσματα με αναλογικές μετρήσεις. Οι Grocholsky και άλλοι (2011) βρήκαν σημαντική συσχέτιση μεταξύ του βάρους του ξύλου κλαδέματος και της μέτρησης του όγκου της κόμης με χρήση σαρωτή λέιζερ σε αμπελώνα.

Σε προηγούμενες μελέτες έχει χρησιμοποιηθεί η καταγραφή του αριθμού των προσκρούσεων της δέσμης λέιζερ στη μετρούμενη βλάστηση, ως ένας απλός και εύκολος τρόπος για την ποσοτικοποίηση της μέτρησης με σαρωτή λέιζερ (Sanz-Cortiella et al., 2011).

Στην παρούσα μελέτη ερευνήθηκε η δυνατότητα χρήσης της τεχνολογίας σαρωτή λέιζερ ως ένας αυτοματοποιημένος, εύκολος και γρήγορος τρόπος για πραγματοποίηση χαρτογράφησης του χειμερινού ξύλου σε όλη την έκταση του αμπελώνα. Χρησιμοποιήθηκε σαρωτής λέιζερ (LiDAR) σε συνδυασμό με GPS και τα αποτελέσματα συσχετίστηκαν με τις μετρήσεις του βάρους των κληματίδων, το δείκτη NDVI, τις ιδιότητες του εδάφους και την παραγωγή.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1. Ο πειραματικός αμπελώνας

Η μελέτη διεξήχθη σε ένα εμπορικό αμπελώνα με έκταση 10 στρεμμάτων, στη Θεσσαλία (39.26^{o} N, 22.73^{o} E), κατά τα έτη 2010 και 2011. Ο αμπελώνας ήταν εγκατεστημένος με την ελληνική ερυθρή οινοποιήσιμη ποικιλία Αγιωργίτικο (*Vitis vinifera* L.). Βρίσκεται σε πλαγιά με βορειοανατολικό προσανατολισμό. Στο άνω τμήμα του αμπελώνα το έδαφος παρουσιάζεται φτωχότερο (ελαφριάς σύστασης, πιο πετρώδες, ρηχό) σε σύγκριση με το κάτω μέρος όπου το έδαφος ήταν βαθύτερο και πιο εύφορο.

2.2. Μετρήσεις

Αρχικά χαρτογραφήθηκε το τοπογραφικό ανάγλυφο του αμπελώνα χρησιμοποιώντας RTK-GPS (Ag-GPS 252, Trimble Ltd, USA), τοποθετημένο σε γεωργικό ελκυστήρα. Ο ελκυστήρας ακολούθησε σιγμοειδή διαδρομή σαρώνοντας όλη την επιφάνεια του αμπελώνα κάθε δεύτερη γραμμή (5,2 m). Το αμπέλι χωρίστηκε σε πλέγμα 48 κελιών (το μέγεθος κάθε κελιού ήταν 10 x 20 m) για την μέτρηση του βάθους του εδάφους με τη χρήση εδαφολήπτη. Το

βάθος του εδάφους σε κάθε σημείο δειγματοληψίας θεωρήθηκε εκείνο όπου ο εδαφολήπτης αποσπούσε μητρικό υλικό από το έδαφος. Για την χαρτογράφηση του δείκτη βλάστησης NDVI χρησιμοποιήθηκε ο αισθητήρας CropCircle (ACS-210, Holland Scientific Inc., Lincoln, NE, USA). Ο NDVI μετρήθηκε σε τέσσερα βασικά στάδια ανάπτυξης της αμπέλου: ανθοφορία, καρπόδεση (αρχή της ανάπτυξης της ράγας), περκασμός (έναρξη της ωρίμανσης) και συγκομιδή. Οι μετρήσεις του δείκτη NDVI πραγματοποιήθηκαν σε συνδυασμό με DGPS (Differential GPS-106, Trimble Ltd, USA) για τον καθορισμό των σημείων μέτρησης. Για την καταγραφή των δεδομένων χρησιμοποιήθηκε το καταγραφικό GeoSCOUT (GLS-400, Holland Scientific Inc., Lincoln, NE). Ο εξοπλισμός τοποθετήθηκε σε ειδικά κατασκευασμένη βάση η οποία αναρτήθηκε στο πίσω μέρος του γεωργικού ελκυστήρα σε ύψος 1,2 m από την επιφάνεια του εδάφους και 1,2 m από τα αμπέλια μετρώντας την πλάγια όψη του φυλλώματος.

Η χαρτογράφηση της παραγωγής έλαβε χώρα κατά τη διάρκεια της συγκομιδής η οποία πραγματοποιήθηκε τον Σεπτέμβριο του 2010 και 2011. Όλα τα δοχεία συλλογής των σταφυλιών ζυγίστηκαν και γεωαναφέρθηκαν στο ακριβές σημείο συγκομιδής. Η διαδικασία περιγράφεται λεπτομερώς στο Tagarakis et al. (2013).

Ένας σαρωτής λέιζερ δύο διαστάσεων (LMS 200 30106, SIC AG, Germany) χρησιμοποιήθηκε για τη χαρτογράφηση των κληματίδων κατά μήκος του αμπελώνα πριν από το κλάδεμα το Φεβρουάριο του 2010 και 2011 αντίστοιχα. Ο συγκεκριμένος αισθητήρας έχει χρησιμοποιηθεί εκτενώς από ερευνητές για την εκτίμηση των γεωμετρικών χαρακτηριστικών και των διαστάσεων σε δενδροκομικές καλλιέργειες (Van der Zande et al., 2006; Lee & Ehsani 2008; Llorens et al., 2011; Rosell Polo et al., 2009). Παρέχει εύρος γωνιακής μέτρησης 180 μοιρών σε απόσταση έως 10 μέτρα. Λειτουργεί βασισμένο στην αρχή του χρόνου-πτήσης, εκπέμπει ένα παλμικό λέιζερ που αντανακλάται μόλις προσκρούσει σε ένα αντικείμενο. Ο χρόνος που απαιτείται για να επιστέψει η δέσμη λέιζερ εξαρτάται από την απόσταση του αισθητήρα από το στόχο. Ο σαρωτής λέιζερ τοποθετήθηκε σε βάση στο πίσω μέρος του γεωργικού ελκυστήρα στοχεύοντας προς τις σειρές του αμπελώνα κάθετα προς το φυλλικό τείχος. Κατά τη μέτρηση πραγματοποιούνταν μία σάρωση ανά δευτερόλεπτο. Η ταχύτητα του ελκυστήρα ήταν 0,5,m/sec παρέχοντας δύο σαρώσεις ανά μέτρο. Το γωνιακό εύρος σάρωσης επιλέχτηκε στις 100° με γωνιακή ανάλυση 1° παρέχοντας 100 μετρήσεις σε κάθε σάρωση της κάθετης επιφάνειας των αμπέλων (ύψους 1,4m), με τα σημεία πρόσκρουσης στην επιφάνεια των σαρωμένων κλαδιών να απέχουν μεταξύ τους 1,4cm. Ο αριθμός των προσκρούσεων που λαμβάνονταν από τις κληματίδες της αμπέλου ανά μέτρο μήκους της επιφάνειας σάρωσης, μετρήθηκε και γεωαναφέρθκε με χρήση GPS (eTrex Legend H, Garmin Ltd). Επιπλέον, εκτιμήθηκε με απευθείας ζύγιση και γεωαναφορά το βάρος των κληματίδων αμέσως μετά το κλάδεμα (βάρος ξύλου κλαδέματος) ανά κελί μέτρησης (10×20m, 48 κελιά συνολικά).

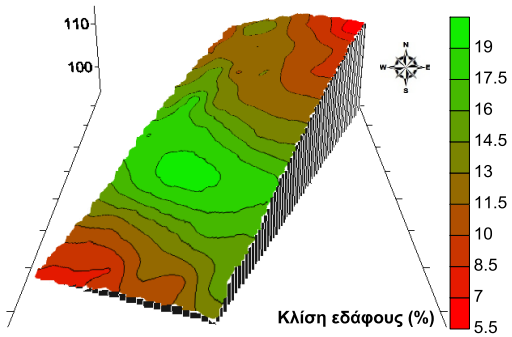
Εικόνα 1. Σάρωση των κληματίδων με το laser scanner LMS200.

2.3. Ανάλυση των δεδομένων

Όλες οι παράμετροι αναφέρθηκαν στο πλέγμα 10 x 20 m (48 κελιά συνολικά) που χρησιμοποιήθηκε για την μέτρηση του βάθους του εδάφους και για τη ζύγιση των κληματίδων. Αρχικά υπολογίστηκαν τα περιγραφικά στατιστικά χρησιμοποιώντας το λογισμικό SPSS (SPSS Inc, Chicago, IL, USA). Επίσης υπολογίστηκε η συσχέτιση κατά Pearson μεταξύ των μεταβλητών που μετρήθηκαν. Τα δεδομένα του σαρωτή λέιζερ αναλύθηκαν και συγκρίθηκαν με το βάρος του ξύλου κλαδέματος, τις μετρήσεις NDVI και την παραγωγή. Οι χάρτες δημιουργήθηκαν χρησιμοποιώντας το λογισμικό χαρτογράφησης Surfer 9 (Golden Software Inc., Colorado, USA).

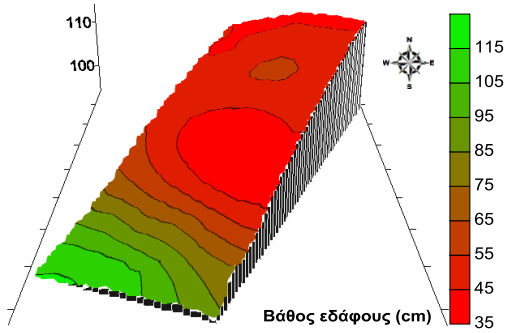
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Οι χάρτες τοπογραφικού ανάγλυφου, κλίσης και βάθους του εδάφους παρέχουν μια οπτική αναπαράσταση της παραλλακτικότητας των εδαφικών ιδιοτήτων του αμπελώνα.



Εικόνα 2. Χάρτης κλίσης εδάφους προβαλλόμενος πάνω σε τρισδιάστατη απεικόνιση του ανάγλυφου του εδάφους.

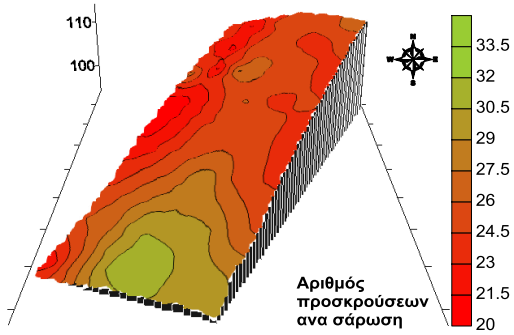
Η κλίση της επιφάνειας του εδάφους ήταν 5,8% στο βορειοανατολικό μέρος του αμπελώνα, 19,7% στο κέντρο και 6,0% στο νοτιοδυτικό (Εικόνα 2).



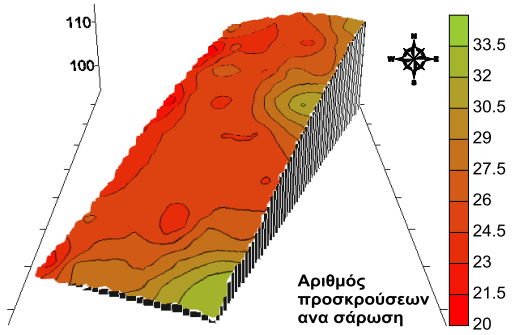
Εικόνα 3. Χάρτης βάθους εδάφους προβαλλόμενος πάνω σε τρισδιάστατη απεικόνιση του ανάγλυφου του εδάφους.

Το υψόμετρο κυμάνθηκε μεταξύ 94,5 m και 113,3 m πάνω από το επίπεδο της θάλασσας, ενώ το βάθος του εδάφους κυμάνθηκε μεταξύ 35 cm και της 113 cm. Η υψηλή διακύμανση επιβεβαιώθηκε από τα περιγραφικά στατιστικά (CV = 0,363 για το βάθος του εδάφους, CV = 0,253 για την κλίση).

Ο αριθμός των προσκρούσεων που καταγράφηκαν κατά τη μέτρηση με τον σαρωτή λέιζερ πριν από το κλάδεμα χαρτογραφήθηκε και παρουσιάζεται στις εικόνες 4 και 5.



Εικόνα 4. Χάρτης του αριθμού προσκρούσεων κατά τη σάρωση με το laser scanner LMS200 για το 2010, προβαλλόμενος πάνω σε τρισδιάστατη απεικόνιση του ανάγλυφου του εδάφους.



Εικόνα 5. Χάρτης του αριθμού προσκρούσεων κατά τη σάρωση με το laser scanner LMS200 για το 2011, προβαλλόμενος πάνω σε τρισδιάστατη απεικόνιση του ανάγλυφου του εδάφους.

Σύμφωνα με τα περιγραφικά στατιστικά, το βάρος του ξύλου κλαδέματος και η παραγωγή παρουσίασαν υψηλή παραλλακτικότητα (C.V. = 0.19 και C.V. = 0.21 για το βάρος κλαδέματος του 2010 και 2011 αντίστοιχα ενώ για την παραγωγή C.V. = 0.27 και C.V. = 0.26 για το 2010 και 2011 αντίστοιχα) σε αντίθεση με τις μετρήσεις του δείκτη βλάστησης NDVI (C.V. <0,05 και για τα δύο έτη).

Η στατιστική ανάλυση ανέδειξε σημαντική θετική συσχέτιση μεταξύ των μετρήσεων του σαρωτή λέιζερ και του βάρους του ξύλου κλαδέματος, τόσο το 2010 όσο και το 2011 (r = 0,809 και r = 0,829 αντίστοιχα, p < 0,001). Εξίσου σημαντική συσχέτιση προέκυψε μεταξύ του αριθμού των προσκρούσεων του σαρωτή λέιζερ και της παραγωγής (r = 0.617 για το 2010 και r = 0.718 για το 2011, p <0.001) αλλά και μεταξύ του βάρους του ξύλου κλαδέματος και της παραγωγής (r = 0,585 για 2010 και r = 0.725για το 2011, p <0.001).

Ο δείκτης NDVI βρέθηκε να συσχετίζεται θετικά στην αρχή (άνθιση) και στο τέλος (συγκομιδή) της καλλιεργητικής περιόδου με τις μετρήσεις του σαρωτή λέιζερ (r = 0,388, p<0,001 και r = 0,338, p<0,005 κατά το 2010, ενώ για το 2011 r = 0,340 και r = 0.354, p<0,005 για άνθιση και παραγωγή αντίστοιχα), το βάρος του ξύλου κλαδέματος (r = 0,297 και r = 0,331, p<0,005 κατά το 2010, ενώ για το 2011 r = 0,412 και r = 0.510, p<0,001 για άνθιση και παραγωγή αντίστοιχα) και την παραγωγή (r = 0,285, p<0,005 και r = 0,396, p<0,001 κατά το 2010, ενώ για το 2011 r = 0,405 και r = 0,434, p<0,001 για άνθιση και παραγωγή αντίστοιχα).

4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Από τους χάρτες εδαφικών ιδιοτήτων παρατηρήθηκε ότι το βάθος του εδάφους παρουσίασε παρόμοια χωρική μεταβολή με την κλίση του εδάφους και το τοπογραφικό ανάγλυφο. Κατά συνέπεια τα σημεία με μεγάλη κλίση έχουν την τάση να είναι ρηχότερα λόγω διάβρωσης και έκπλυσης του εδάφους με το νερό της βροχής. Σε γενικές γραμμές, όταν κλίση είναι ο κυρίαρχος παράγοντας του σχηματισμού του εδάφους, το κάτω μέρος της πλαγιάς χαρακτηρίζεται από εδάφη με βαθύτερη ζώνης ανάπτυξης των ριζών (Bramley & Hamilton 2005).

Σύμφωνα με τους χάρτες του σαρωτή λέιζερ, το νότιο τμήμα του αμπελώνα παρουσίασε μεγαλύτερο αριθμό προσκρούσεων και για τα δύο έτη γεγονός που υποδηλώνει ότι τα αμπέλια εκεί είχαν σταθερά αυξημένη ζωηρότητα. Το βορειοανατολικό τμήμα του αμπελώνα παρουσιάστηκε υψηλής ζωηρότητας κατά το 2011 σε αντίθεση με το 2010 που η παραγωγή βλαστών ήταν μειωμένη στο συγκεκριμένο σημείο, γεγονός που συμφωνεί με τα αποτελέσματα της χαρτογράφησης της παραγωγής και του βάρους κλαδέματος. Αντίθετα, οι πρώτες σειρές δυτικά παρουσίασαν σταθερά σημαντικά χαμηλότερες τιμές και για τα δυο έτη.

Η υψηλή συσχέτιση μεταξύ των μετρήσεων του σαρωτή λέιζερ και του βάρους του ξύλου κλαδέματος υποδεικνύει τη δυνατότητα του σαρωτή λέιζερ για γρήγορη και ακριβή χαρτογράφηση της βλάστησης της αμπέλου στα πλαίσια εφαρμογής της Αμπελουργίας Ακριβείας.

Αντίθετα, ο δείκτης βλάστησης NDVI, ο οποίος χρησιμοποιείται ευρύτατα για το χαρακτηρισμό της ζωηρότητας της αμπέλου, παρουσίασε σημαντικά χαμηλή παραλλακτικότητα κυρίως λόγω του μικρού εύρους των τιμών των μετρήσεων και της πραγματοποίησης τακτικών κορυφολογημάτων που τείνουν να ομαλοποιούν τη χωρική παραλλακτικότητα των ιδιοτήτων του φυλλώματος (Hall et al., 2011). Για το λόγο αυτό, ο δείκτης NDVI έδειξε τα συσχετίζεται με τις παραμέτρους της βλάστησης και της παραγωγής μόνο στην αρχή και στο τέλος της περιόδου.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας, υπάρχει προοπτική για την υιοθέτηση αισθητήρων LIDAR για γρήγορη και ακριβή χαρτογράφηση του χειμερινού ξύλου σε αμπελώνες. Οι παραγόμενοι χάρτες μπορούν να αποτελέσουν ένα χρήσιμο εργαλείο για την αξιολόγηση της χωρικής παραλλακτικότητας της ζωηρότητας της αμπέλου με σκοπό τη στοχευόμενη εφαρμογή των εισροών (άρδευση, λίπανση) και των αμπελοκομικών τεχνικών ανάλογα με τις ανάγκες κάθε διαχειριστικής ζώνης. Έτσι, η χαρτογράφηση το ξύλου κλαδέματος με σαρωτές λέιζερ μπορεί να είναι ένα βασικό βήμα ενός ολοκληρωμένου συστήματος διαχείρισης στα πλαίσια εφαρμογής αμπελουργίας ακριβείας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Bramley, R. G. V., and Hamilton, R. P. 2005. Hitting the zone—making viticulture more precise. In: Proceedings of the 12th Australian wine industry technical conference, edited by R. J. Blair, P. J. Williams, and I. S. Pretorius, Adelaide: Winetitles, pp. 57–61.

Bramley, R., Pearse, B, and Chamberlain, P. 2003. Being profitable precisely - a case study of precision viticulture from Margaret River. Australian and New Zealand Grapegrower and Winemaker 473(a) 84-87.

Grocholsky, B., Nuske, S., Aasted, M., Achar, S., Bates, T. 2011. A camera and laser system for automatic vine balance assessment. American Society of Agricultural and Biological Engineers 7 5530-5544.

Hall, A., Lamb, D. W., Holzapfel, B. P. and Louis, J. P. 2011. Within-season temporal variation in correlations between vineyard canopy and winegrape composition and yield. Precision Agriculture 12 103-117.

Hansen, P. M., and Schjoerring, J. K. 2003. Reflectance measurement of canopy biomass and nitrogen status in wheat crops using normalized difference vegetation indices and partial least squares regression. Remote sensing Environment 86 542-553.

Keightley, K. E. and Bawden, G. W. 2010. 3D volumetric modeling of grapevine biomass using Tripod LiDAR. Computers and Electronics in Agriculture 74 305–312.

Lee, K. H. and Ehsani, R. 2008. Comparison of two 2D laser scanners for sensing object distances, shapes, and surface patterns. Computers and electronics in agriculture 60 250–262.

Llorens, J., Gil, E., Llop, J. and Queraltó, M. 2011. Georeferenced LiDAR 3D Vine Plantation Map Generation. Sensors 11 6237-6256.

Rosell Polo, J. R., Sanz, R., Llorens, J., Arno, J., Escola, A., Ribes-Dasi, M., Masip, J., Camp, F., Gracia, F., Solanelles, F., Palleja, T., Val, L., Planas, S. Gil, E. and Palacın, J. 2009. A tractor-mounted scanning LIDAR for the non-destructive measurement of vegetative volume and surface area of tree-row plantations: A comparison with conventional destructive measurements. Biosystems Engineering 102 128–134.

Sanz-Cortiella, R., Llorens-Calveras, J., Escolà, A., Arnó-Satorra, J., Ribes-Dasi, M., Masip-Vilalta, J., Camp, F., Gràcia-Aguilá, F., Solanelles-Batlle, F., Planas-DeMartí, S., Pallejà-Cabré, T., Palacin-Roca, J., Gregorio-Lopez, E., Del-Moral-Martínez, I. and Rosell-Polo, J.R. 2011. Innovative LIDAR 3D dynamic measurement system to estimate fruit-tree leaf area. Sensors 11(6) 5769-5791.

Smart, R. and Robinson, M. 1991. Sunlight into Wine: A Handbook for winegrape and Canopy Management. Winetitles, Adelaide.

Stamatiadis, S., Taskos, D., Tsalidas, C., Christoforides, C., Tsalida, E., and Schepers, J. S. 2006. Relation of Ground-Sensor Canopy Reflectance to Biomass Production and Grape Color in Two Merlot Vineyards. American Journal of Enology and Viticulture 57 415-422.

Tagarakis, A., Liakos, V., Fountas, S., Koundouras, S. and Gemtos, T. 2013. Management zones delineation using fuzzy clustering techniques in grapevines. Precision Agriculture, 14(1) 18-39.

Tardaguila, J., Baluja, J., Arpon, L., Balda, P. and Oliveira, M. 2011. Variations in soil properties affect the vegetative growth and yield components of “Tempranillo” grapevines. Precision Agriculture 12 762-773.

Van der Zande, D., Hoet, W., Jonckheere, I., van Aardt, J. and Coppin, P. 2006. Influence of Measurement Set-Up of Ground-Based LiDAR for Derivation of Tree Structure. Agricultural and Forest Meteorology 141 147-160.

Wei, J. and Salyani, M., 2004. Development of a laser scanner for measuring tree canopy characteristics: phase 1. Prototype development. Transactions of the ASAE 47 (6) 2101–2107.

ΑΥΤΟΜΑΤΗ ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΩΝ ΣΤΑΔΙΩΝ ΣΥΓΚΟΜΙΔΗΣ ΣΕ ΦΥΤΑ ΜΑΡΟΥΛΙΟΥ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΦΘΟΡΙΣΜΟΥ ΤΗΣ ΧΛΩΡΟΦΥΛΛΗΣ

Ξ.Ε. Πανταζή[1], Δ. Κασαμπαλής[2], Π. Τσουβαλτζής[2], Δ. Μόσχου[1], Δ. Κατέρης[1]

[1] Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Γεωπονική Σχολή, Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας, ΡΟ 275 ,Τ.Κ 54124,Θεσσαλονίκη, email: renepantazi@gmail.com

[2] Εργαστήριο Λαχανοκομίας, , Γεωπονική Σχολή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τ.Κ 54124, Θεσσαλονίκη

Τα ποιοτικά χαρακτηριστικά και θρεπτικά στοιχεία φυτών μαρουλιού διαφέρουν σημαντικά, ανάλογα με το στάδιο ανάπτυξης. Στην παρούσα εργασία, φυτά μαρουλιού των υβριδίων Mastamar, Atoll και Starfighter, τύπου Batavia, καθώς και Bacio, Picos CLX και Picos FM, τύπου Romana καλλιεργήθηκαν στο έδαφος γυάλινου, θερμαινόμενου θερμοκηπίου κατά την περίοδο 15/10-27/12/2012. Η καλλιέργεια των φυτών έγινε σύμφωνα με τις συνήθεις καλλιεργητικές πρακτικές. Στις 46, 60 και 70 ημέρες από τη μεταφύτευση, τα φυτά συγκομίστηκαν και στη συνέχεια μεταφέρθηκαν στο Εργαστήριο Λαχανοκομίας του Α.Π.Θ. όπου προσδιορίστηκαν οι παράμετροι του φθορισμού της χλωροφύλλης σε 2 μεσαία φύλλα από 3 φυτά κάθε υβριδίου, διαφορετικού σταδίου συγκομιδής, με τη χρήση του οργάνου FluorPen FP 100-MAX-LM. Το συγκεκριμένο όργανο έχει τη δυνατότητα της μέτρησης κινητικής φθορισμού χλωροφύλλης με την μέθοδο OJIP και αφορά το μεταβατικό στάδιο φθορισμού (fluoroscence transient).Από τις μετρήσεις παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές ανάμεσα στα στάδια συγκομιδής. Συγκεκριμένα, πραγματοποιήθηκε ανάλυση τύπου ANOVA (Analysis of Variance) προκειμένου να καθοριστούν οι πιο σημαντικές παράμετροι κινητικής φθορισμού τα οποία σχετίζονται με το στάδιο συγκομιδής του μαρουλιού. Οι παράμετροι κινητικής φθορισμού χρησιμοποιήθηκαν σαν είσοδοι προκειμένου να τροφοδοτήσουν Ταξινομητές Προτύπων (Pattern Classifiers) οι οποίοι είχαν ως στόχο την πρόβλεψη του σταδίου συγκομιδής. Παρατηρήθηκε ότι ο εντοπισμός των διαφορετικών σταδίων συγκομιδής είναι πιο ακριβής με τη χρήση μη γραμμικών ταξινομητών λόγω της μη γραμμικότητας του προβλήματος η οποία οφείλεται στην ετερογένεια των χαρακτηριστικών κινητικής χλωροφύλλης.

Λέξεις κλειδιά: νευρωνικά δίκτυα, εξόρυξη δεδομένων, συσταδοποίηση, λαχανοκομία, μετασυλλεκτική ποιότητα

AUTOMATIC DETECTION OF DIFFERENT HARVESTING STAGES IN LETTUCE PLANTS USING CHLOROPHYLL FLUORESCENCE

X.E. Pantazi[1], D.Kasampalis[2], P. Tsouvaltzis[2], D.Moshou[1], D. Kateris[1]

[1] Aristotle University of Thessaloniki, School of Agriculture, Department of Hydraulics, Soil Science and Agriculture Engineering, Laboratory of Agricultural Engineering, P.0 275 54 124, Thessaloniki, Greece

[2]Aristotle University of Thessaloniki, School of Agriculture Department of Horticulture and Viticulture, Laboratory of Vegetable Crop Production, P.0 275 54 124, Thessaloniki, Greece

The nutritional quality components of lettuce differ significantly in relation to the growth stage at harvest. In the current study, lettuce plants (cvs. Mastamar, Atoll and Starfighter) of Batavia type and (cvs. Bacio, Picos CLX and Picos FM) of type Romana were grown on soil in heated greenhouse, during 15/10-27/12/2012 following usual agricultural practices. On 46th, 60th and 70th day after transplanting, lettuce plants were harvested at the and then transferred to the Lab of Vegetable Crops, Aristotle University Thessaloniki. The parameters of chlorophyll fluorescence were determined in two middle leaves of 3 plants of each hybrid, in each of the three growing stages, using the FluorPen FP 100-MAX-LM. This instrument is capable of measuring chlorophyll fluorescence kinetics by the OJIP method which concerns the OJIP transition fluorescence (fluorescence transient). From the measurements significant differences between the harvesting stages were indicated. Specifically, an analysis type, under the name ANOVA (Analysis of Variance) was utilized so as to determine the most important parameters kinetic fluorescence which are related to the growing stage of lettuce. The fluorescence kinetic parameters were used as inputs to feed Classifiers Standards (Pattern Classifiers) in order to predict the growing stage at harvest. It was found that the discrimination of growing stages was more accurate by using nonlinear classifiers due to the nonlinearity of the problem which is related to the heterogeneity of the chlorophyll kinetic characteristics.

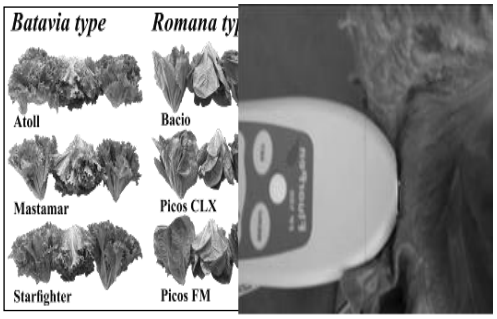
Keywords: neural networks, data mining, clustering, horticulture, postharvest quality

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ένα σημαντικό θέμα σχετικά με την ποιότητα των κηπευτικών αφορά το στάδιο της συγκομιδής τους, το οποίο σχετίζεται σε μεγάλο βαθμό με την περιεκτικότητα τους σε θρεπτικά συστατικά.. Συγκεκριμένα την περίπτωση του μαρουλιού, , το περιεχόμενο σε βιταμίνη C μειώνεται με την ηλικία. . Επί του παρόντος, δεν υπάρχει αντικειμενική μέθοδος για τον προσδιορισμό της φυσιολογικής ηλικίας των φυτών του μαρουλιού και ως εκ τούτου δεν υπάρχει κάποιο πρότυπο σύμφωνα με το οποίο μπορεί να χαρακτηριστεί το στάδιο της ανάπτυξης εκτός από το μέγεθος της κεφαλής μαρουλιού. Αλλά μεταξύ των διαφόρων υβριδίων το μέγεθος του

κεφαλιού του μαρουλιού ποικίλει, μη αποτελώντας έτσι αξιόπιστο κριτήριο για τον προσδιορισμό του σταδίου ανάπτυξης. Για το λόγο αυτό, ζητείται ένα πιο αντικειμενικό κριτήριο όσον αφορά τον προσδιορισμό του σταδίου ανάπτυξης, το οποίο να σχετίζεται με το επίπεδο της ωρίμανσης. Μια τεχνική που εφαρμόζεται συχνά προκειμένου να καθορίσει την ωρίμανση του μαρουλιού αφορά την οπτική τηλεπισκόπηση, είτε φασματοσκοπική ή αυτή της χρήσης φθορισμού (Brach et al., 1974). Ο φθορισμός της χλωροφύλλης έχει χρησιμοποιηθεί για πολλά χρόνια προκειμένου να παρατηρηθεί η φωτοσυνθετική απόδοση των φυτών χωρίς επέμβαση. Πιθανές ειδικές εφαρμογές του φθορισμού της χλωροφύλλης περιλαμβάνουν την εξέταση των φυτών όσον αφορά την ανοχή τους σε διάφορες περιβαλλοντικές καταπονήσεις και πιθανές βελτιώσεις σε επίπεδο καλλιέργειας στο θερμοκήπιο καθώς και μετασυλλεκτικά. Είναι ήδη γνωστό ότι όταν ένα φύλλο προσαρμοσμένο σε σκοτάδι (dark adapted) εκτίθεται στο φως, παρατηρούνται μεγάλες αλλαγές στο φθορισμό της χλωροφύλλης. Οι ταχείες μεταβολές στον φθορισμό που συμβαίνουν κατά τη διάρκεια της ταχείας επαγωγής έως ένα σημείο κορεσμού, είναι ιδιαίτερα ελκυστικές για την ανίχνευση διαφορών όσον αφορά τη φωτοσυνθετική απόδοση μεταξύ των φυτών. Η φωτεινή ενέργεια που απορροφάται από τα φυτά μετατρέπεται σε χημική ενέργεια (φωτοσύνθεση), θερμότητα και φθορισμό. Κύριος στόχος της παρούσας εργασίας είναι να διαφοροποιηθούν οι χαρακτηριστικές φθορισμού χλωροφύλλης βάσει σταδίου συγκομιδής ανεξάρτητα από την ποικιλία.

Ένας από τους κύριους στόχους στον τομέα της γεωργίας είναι να προσδιοριστούν οι τρόποι με τους οποίους ο φθορισμός της χλωροφύλλης μπορεί να χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικά για τη βελτίωση των διαδικασιών επιλογής των φυτών κα της ταχείας αξιολόγηση της απόδοσης τους σε γεωργικά και κηπευτικά προγράμματα βελτίωσης των καλλιεργειών. Ειδικά, στην περίπτωση των ποιοτικών χαρακτηριστικών του μαρουλιού και των θρεπτικών του συστατικών φαίνεται να ποικίλουν έντονα σε διαφορετικά στάδια ανάπτυξης.



Εικόνα (α) *Υβρίδια τύπου Batavia (Atoll, Mastamar and Starfighter) και Romana (Bacio, Picos CLX, Picos FM).* ***(β)*** *FluorPen FP 100-MAX-LM.*

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

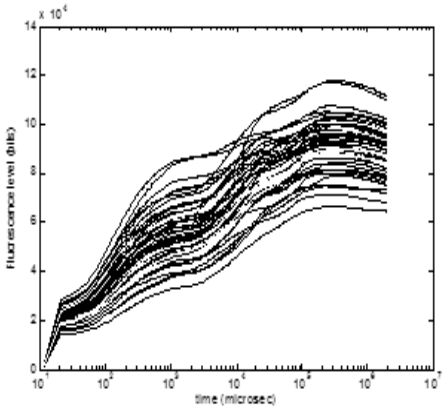
2.1Πειραματικές Μετρήσεις

Στην τρέχουσα έρευνα, φυτά μαρουλιού των υβρΙδίων Mastamar, Atoll και Starfighter του τύπου Batavia καθώς και των υβριδίων Bacio, Picos CLX και Picos FM του τύπου Romana (Εικ. 1(α)) καλλιεργήθηκαν σε έδαφος γυάλινου, θερμαινόμενου θερμοκήπιου κατά την περίοδο 15/10-27/12/2012. Την 46η , 60η και 70η ημέρα από τη μεταφύτευσή τους, τα φυτά συγκομίστηκαν ενώ βρίσκονταν σε διαφορετική φυσιολογική ηλικία. Στη συνέχεια, οι παράμετροι του φθορισμού της χλωροφύλλης προσδιορίστηκαν σε δύο μεσαία φύλλα σε 3 φυτά από κάθε υβρίδιο και σταδίου ηλικίας κατά τη συγκομιδή με τη χρήση της κινητικής φθορισμού της χλωροφύλλης που αφορά την μελέτη των ταχέων μεταβολών φθορισμού.

Από τα αποτελέσματα προέκυψαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των σταδίων συγκομιδής χρησιμοποιώντας το όργανο FluorPen FP 100-MAX-LM του SCI (Εικ. 1 (β)) το οποίο είναι ικανό να μετρήσει την κινητική φθορισμού της χλωροφύλλης μέσω της μεθόδου OJIP που αφορά την καμπύλη απόσβεσης φθορισμού (Strasser et al.,2000). Πραγματοποιήθηκε ANOVA (Analysis of Variance) προκειμένου να καθοριστούν οι πιο σημαντικές παράμετροι κινητικής φθορισμού τα οποία σχετίζονται με το στάδιο συγκομιδής του μαρουλιού. Στη συνέχεια, χρησιμοποιήθηκαν παράμετροι κινητικής φθορισμού ως είσοδοι προκειμένου να τροφοδοτήσουν τους διάφορους στατιστικούς ταξινομητές οι οποίοι είχαν ως στόχο την πρόβλεψη του σταδίου συγκομιδής. Οι Ταξινομητές οι οποίοι χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα μελέτη, ήταν οι: Γραμμική Διακρίνουσα, Τετραγωνική Διακρίνουσα, Ταξινομητής τύπου Bayes, Ταξινομητής Parzen και Ταξινομητής Πλησιέστερης Γειτνίασης).

2.2 Παράμετροι φθορισμού

Πολλές παράμετροι φθορισμού έχουν ήδη προταθεί. Οι ταχείες μεταβολές στον φθορισμό που συμβαίνουν κατά τη διάρκεια της επαγωγής της φωτοσύνθεσης, όταν ένα φύλλο προσαρμοσμένο στο σκοτάδι (dark adapted) εκτίθεται στο φως, έχουν προταθεί εδώ και καιρό ως ιδιαίτερα ελκυστικές για την ανίχνευση των διαφορών στην φωτοσυνθετική απόδοση μεταξύ των φυτών (Εικ.2).



Εικόνα 2 *Καμπύλες Kautsky που προέρχονται από το φθορόμετρο.*

Με το όργανο αυτό, ο φθορισμός διαχέεται μέσω εξαιρετικά φωτεινών διόδων εκπομπής φωτός (LED), μήκους κύματος 650nm. Τα σήματα φθορισμού της χλωροφύλλης ανιχνεύθηκαν χρησιμοποιώντας ένα φωτοκύτταρο μετά το πέρασμα μέσα από ένα υψιπερατό φίλτρο (50% μετάδοση στα 720 nm). Ο χρόνος καταγραφής κατά τη διάρκεια των πειραμάτων ήταν 1 δευτερόλεπτο με ανάλυση της τάξεως των 10 μs κατά τη διάρκεια των πρώτων 2 μs και μετά από αυτό με ανάλυση της τάξεως 1 μικροδευτερόλεπτου, με αποτέλεσμα 1200 τιμές ανά μέτρηση. Τα φυτά μαρουλιού δεν ήταν προσαρμοσμένα στο σκοτάδι (dark adapted) και οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν υπό συνθήκες κανονικού τεχνητού φωτισμού. Οι καμπύλες επαγωγής παρουσιάζονται στην Εικ.2. Το φθορομετρο υπολογίζει αυτόματα ορισμένες γεωμετρικές παραμέτρους των καμπυλών Kautsky (PSI Εγχειρίδιο Fluorpen 100).

2.3 Ταξινόμηση κατά Bayes

Ο ταξινομητής προτύπων (pattern classifier) κατατάσσει το διάνυσμα μέτρησης στην τάξη που αποδοθεί στο αντικείμενο. Αυτό επιτυγχάνεται από την αποκαλούμενη συνάρτηση απόφασης $\omega(.)$ η οποία απεικονίζει το χώρο μετρήσεων στο χώρο πιθανών τάξεων. Αφότου το z είναι ένα N- διάστατο διάνυσμα η συνάρτηση απεικονίζει το $\square^N$ στο Ω. Όμως, πρώτα θα πρέπει να εξαχθεί μια άλλη πιθανότητα. Η εκ των υστέρων πιθανότητα $P(\omega_k|z)$ είναι η πιθανότητα του να ανήκει ένα αντικείμενο στην τάξη k δεδομένου ότι το διάνυσμα μέτρησης που συνδέεται με αυτό το αντικείμενο είναι το διάνυσμα μέτρησης z. Σύμφωνα με το θεώρημα Bayes για δεσμευμένες πιθανότητες έχουμε:

$$P(\omega_k \mid z) = \frac{p(z \mid \omega_k)P(\omega_k)}{p(z)} \qquad (1)$$

Εάν ένας τυχαίος ταξινομητής απονέμει μια τάξη σε ένα διάνυσμα μέτρησης το οποίο προέρχεται από ένα αντικείμενο με πραγματική τάξη ω_k τότε προκύπτει ένα κόστος $C(\hat{\omega}_i \mid \omega_k)$.Η εκ των υστέρων πιθανότητα ύπαρξης ενός τέτοιου αντικειμένου είναι

$$P(\omega_k \mid \mathrm{z})$$

Οπότε η αναμενόμενη τιμή θα είναι :

$$R(\hat{\omega}_i \mid z) = E[C(\hat{\omega}_i \mid \omega_k) \mid z] = \sum_{k=1}^{K}[C(\omega_t \mid \omega_k) \mid z] \quad (2)$$

Αυτή η ποσότητα αποκαλείται δεσμευμένο ρίσκο. Εκφράζει το αναμενόμενο κόστος $\widehat{\omega_t}$ της αποδιδόμενης τάξης σε ένα αντικείμενο του οποίου το διάνυσμα μέτρησης είναι z. Το δεσμευμένο ρίσκο μιας συνάρτησης απόφασης $\hat{\omega}(z)$ είναι $R(\hat{\omega}(z) \mid z)$.Το συνολικό ρίσκο μπορεί να βρεθεί παίρνοντας το μέσο όρο του δεσμευμένου ρίσκου από όλα τα πιθανά διανύσματα μέτρησης.

$$R = E[R(\hat{\omega}(z) \mid z] = \int_z R(\hat{\omega}(z) \mid z)\, p(z) dz \qquad (3)$$

Ο βέλτιστος ταξινομητής είναι αυτός που έχει ελάχιστο ρίσκο R. Η συνάρτηση απόφασης που ελαχιστοποιεί το συνολικό ρίσκο είναι η ίδια που ελαχιστοποιεί το δεσμευμένο ρίσκο. Άρα ο ταξινομητής Bayes παίρνει τη μορφή :

$$\hat{\omega}_{BAYES}(z) = \hat{\omega}_i \qquad (4)$$

Αυτό μπορεί να εκφραστεί πιο περιληπτικά ως εξής:

$$\hat{\omega}_{BAYES}(x) = \arg_{\omega \ni \Omega} \min\{R(\omega \mid z)\} \qquad (5)$$

Η έκφραση argmin{ } παρέχει το στοιχείο Ω που ελαχιστοποιεί το R(ω|z).

2.4Τετραγωνική Διακριτική Ανάλυση (Quadratic Discriminant Analysis (QDA))

Η τετραγωνική διακριτική ανάλυση (QDA), βασίζεται στον κανόνα απόφασης του Bayes. Ένα αντικείμενο ταξινομείται στην τάξη, η οποία μεγιστοποιεί την εκ των υστέρων πιθανότητα (posterior probability).Κάθε τάξη έχει ένα μοναδικό πίνακα συνδιακύμανσης, και επιπλέον διαφορετικές πιθανότητες πυκνότητας τάξης (class density probabilities).Η πιθανότητα κατάταξης P_c για την τάξη c μεγέθους n_C ορίζεται μέσα από τις ακόλουθες εξισώσεις:

$$P_c = (x_{i,c} - \overline{x_c})^T \sum_c^{-1} (x_{i,c} - \overline{x_c}) + \ln\left(|\sum c|\right) - 2\ln(p_c)$$

$$\overline{\boldsymbol{x}_c} = \frac{\mathbf{1}}{\boldsymbol{n}_c} \sum_{i=1}^{n_c} \boldsymbol{x}_i \quad , \quad \sum c = \frac{1}{n_c} \sum_{i=1}^{n_c} (x_i - \overline{x_c})(x_i - \overline{x_c})^T$$

$$\boldsymbol{p}_c = \frac{\boldsymbol{n}_c}{\boldsymbol{n}} \qquad (6)$$

Όπου το $x_{i,c}$ αντιπροσωπεύει τη μέση τιμή της μεταβλητής i για τις τάξεις c,p είναι η εκ των προτέρων πιθανότητα και Σ ο πίνακας διακύμανσης.

2.5 Μέθοδος του Πλησιέστερου Γείτονα (Nearest neighbor method)

Η δεύτερη μέθοδος είναι η μέθοδος του πλησιέστερου γείτονα, η επονομαζόμενη και ως NN-d. Μπορεί να προέρχεται από μια τοπική εκτίμηση πυκνότητας από τον ταξινομητή του πλησιέστερου γύρω από ένα αντικείμενο προς δοκιμή z. Ο όγκος αυτού του χωρικού τομέα διογκώνεται μέχρι να συλλάβει k αντικείμενα από το σύνολο εκπαίδευσης. Η τοπική πυκνότητα υπολογίζεται κατόπιν από:

$$p_{NN}(z) = \frac{k / N}{V_k(|| z - NN_k^{tr}(z) ||)} \quad (7)$$

γείτονα (Duda and Hart, 1973). Η μέθοδος αποφεύγει τη ρητή εκτίμηση πυκνότητας και χρησιμοποιεί μόνο αποστάσεις προς τον πρώτο πλησιέστερο γείτονα. Στην εκτίμηση πυκνότητας του πλησιέστερου γείτονα ένας χωρικός τομέας ο οποίος είναι συχνά μια υπερσφαίρα σε d διαστάσεις, επικεντρώνεται Όπου το NN_R^t είναι ο πλησιέστερος γείτονας k στο σύνολο εκπαίδευσης z και V_kείναι ο όγκος του χωρικού τομέα ο οποίος περιέχει το αντικείμενο αυτό.

2.6 Μέθοδος εκτίμησης πυκνότητας Parzen (Parzen density method)

Η μέθοδος εκτίμησης πυκνότητας Parzen είναι τις περισσότερες φορές, ένα μίγμα από πυρήνες Gauss (kernel) οι οποίοι επικεντρώνονται σε επιμέρους αντικείμενα εκπαίδευσης.

$$p_p(x) = \frac{1}{N}\sum_i p_N(x; x_i, hI) \quad (8)$$

Όπου p_N είναι οι πυρήνες Gauss, x_i είναι τα κέντρα των πυρήνων (επι μέρους αντικείμενα εκπαίδευσης), h είναι το διάνοιγμα του πυρήνα Gauss και x το νέο διάνυσμα προς ταξινόμηση.

Το ίσο διάνοιγμα h προς κάθε κατεύθυνση στο χώρο χαρακτηριστικών σημαίνει ότι ο εκτιμητής πυκνότητας Parzen υποθέτει ισοζυγισμένες χαρακτηριστικές οπότε και θα είναι ευαίσθητος στην κλιμάκωση των τιμών των χαρακτηριστικών ειδικά για μικρό αριθμό δειγμάτων. Η εκπαίδευση της πυκνότητας Parzen βασίζεται στον καθορισμό μιας και μοναδικής παραμέτρου του διανοίγματος h. Μια καλή περιγραφή εξαρτάται εξ ολοκλήρου από την αντιπροσωπευτικότητα του συνόλου εκπαίδευσης. Το υπολογιστικό κόστος εκπαίδευσης ενός εκτιμητή πυκνότητας Parzen, είναι σχεδόν μηδενικό αλλά οι δοκιμές είναι ακριβές (λόγω υψηλού υπολογιστικού κόστους). Όλα τα αντικείμενα εκπαίδευσης πρέπει να αποθηκευτούν και κατά τη διάρκεια των δοκιμών οι αποστάσεις προς όλα τα αντικείμενα εκπαίδευσης πρέπει να υπολογιστούν και να ταξινομηθούν κατά σειρά μεγέθους. Αυτό μπορεί να περιορίσει σοβαρά την εφαρμοσιμότητα της μεθόδου ειδικά για μεγάλα σύνολα δεδομένων (Tax., 2001).

2.7 Συναρτήσεις Γραμμικής Διάκρισης

Μια υπόθεση που διατυπώνεται συχνά είναι ότι τα δείγματα στο σύνολο εκπαίδευσης που μπορούν να ταξινομηθούν σωστά με γραμμικά όρια απόφασης. Στην περίπτωση αυτή, οι συναρτήσεις διάκρισης έχουν τη μορφή:

$$g_k(z) = w_k^T z + w_k \quad (9)$$

Οι συναρτήσεις του τύπου αυτού ονομάζονται γραμμικές συναρτήσεις διάκρισης (linear discriminant functions).

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Πίνακας 1 *Αποτελέσματα ANOVA*

	M_0	φ_{Po}	ψ_0	φ_{Eo}	φ_{DIo}
1ο στάδιο συγκομιδής	1351a	0.75b	0.51a	0.38b	0.25a
2ο στάδιο συγκομιδής	1341a	0.73b	0.472b	0.35b	0.27a
3ο στάδιο συγκομιδής	1098b	0.76a	0.57a	0.44a	0.23b
	PI_{ABS}	ABS / RC	TR_0 / RC	ET_0 / RC	DI_0 / RC
1ο στάδιο συγκομιδής	0.93b	3706a	2761a	1410a	0.95a
2ο στάδιο συγκομιδής	0.90b	3489b	2542b	1201b	0.95a
3ο στάδιο συγκομιδής	1.48c	3290c	2543b	1446a	0.76b
	V_J	V_i	F_M / F_0	F_v / F_0	F_v / F_M
1ο στάδιο συγκομιδής	0.49a	0.84a	3951b	2951b	0.75b
2ο στάδιο συγκομιδής	0.53a	0.83a	3812b	2812b	0.73b
3ο στάδιο συγκομιδής	0.43b	0.78b	4454a	3454a	0.78a

Τα αποτελέσματα των συσχετισμών αυτών παρουσιάζονται στον Πίνακα 1. Οι Ταξινομητές Προτύπου εκπαιδεύτηκαν με τις παραμέτρους οι οποίες βασίζονται στην κινητική φθορισμού προκειμένου να διαχωριστούν τα φυτά μαρουλιού ανάλογα με τη φυσιολογική τους ηλικία. Προκειμένου να ελεγχθεί η ικανότητα γενίκευσης των Ταξινομητών εφαρμόστηκε διασταυρωτική επικύρωση (cross validation) χωρίζοντας την περιοχή εκπαίδευσης σε τέσσερις ομάδες, εκπαιδεύοντας σε τρεις ενώ παράλληλα ελέγχοντας στην τέταρτη ομάδα. Η διαδικασία αυτή επαναλήφθηκε για όλους τους πιθανούς συνδυασμούς των τριών ομάδων και καταχωρήθηκε το μέσο αποτέλεσμα. Τα αποτελέσματα των διαφορετικών Ταξινομητών Προτύπου που αφορούν στην ποσοστιαία επιτυχή αναγνώριση των τριών σταδίων συγκομιδής, φαίνονται στον Πίνακα 2.

Πίνακας 2. *Επιτυχής Αναγνώρισης της πραγματικής ανάπτυξης στα στάδια 1, 2 και 3 από διαφορετικούς Ταξινομητές*

Ταξινομητής	Επιτυχής Αναγνώριση 1ου σταδίου Συγκομιδής (%)	Επιτυχής Αναγνώριση 2ουσταδίου συγκομιδής (%)	Επιτυχής Αναγνώριση 3ου σταδίου συγκομιδής (%)
LDC	80	73,33	82,22
QDC	46	100	60
NAIVEBC	75	51,67	71,11
PARZENC	91,67	83,33	96,67
KNNC	75	46,67	78,89

4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Σημαντικές διαφορές σε επίπεδο εμπιστοσύνης 5% εκδηλώνονται μεταξύ των μέσων όρων των παραμέτρων των σταδίων συγκομιδής ανά δυάδες ή τριάδες όπου με το ίδιο γράμμα τα δύο στάδια δεν διαφέρουν σημαντικά ενώ το τρίτο διαφέρει σε επίπεδο εμπιστοσύνης 5%. Επιπλέον για ορισμένες παραμέτρους διακρίνεται σημαντική διαφορά και για τα τρία στάδια, όπως για παράδειγμα η παράμετρος ABS / RC. Επίσης στον Πίνακα 1 φαίνεται ότι οι πιο σημαντικές παράμετροι για διαχωρισμό τύπου μαρουλιού Batavia και Romana είναι οι ABS / RC και TR_0/RC.Για το λόγο ότι οι παράμετροι φθορισμού εμφανίζουν δυνατότητα διαχωρισμού δύο σταδίων αλλά όχι και των τριών ταυτόχρονα, κρίθηκε σκόπιμο να χρησιμοποιηθούν όλες οι παράμετροι έτσι ώστε να έχουμε το όφελος της μέγιστης συνέργιας όσον αφορά το διαχωρισμό των σταδίων συγκομιδής. Μια κοινή παρατήρηση με βάση τον Πίνακα 2 είναι ότι Ταξινομητής PARZENC εμφανίζει καλύτερη απόδοση ταξινόμησης ενώ ο γραμμικός Ταξινομητής Διάκρισης (LDC) εμφανίζει ελαφρά χειρότερη απόδοση καθώς μπορεί να διακρίνει με επιτυχία μόνο το 1ο και το 3ο στάδιο συγκομιδής ενώ υστερεί προς την αναγνώριση του 2ου σταδίου (Πίνακας 1).
Επιπλέον διαπιστώνεται ότι οι ταξινομητές LDC, NAIVEBC και KNNC αδυνατούν να παρουσιάσουν ικανοποιητικά αποτελέσματα σε όλα τα στάδια συγκομιδής και πιο συγκεκριμένα δίνουν μέτρια αποτελέσματα μεταξύ 71 και 82% για την αναγνώριση του 1ου και 3ου σταδίου συγκομιδής και απογοητευτικά αποτελέσματα μεταξύ 46 και 73% για το δεύτερο στάδιο συγκομιδής. Η εφαρμογή του ταξινομητή Parzen σε ένα πρακτικό σύστημα πρόβλεψης του σταδίου συγκομιδής είναι προφανής γιατί εμφανίζει μηδενικό υπολογιστικό κόστος εκπαίδευσης κα μπορεί να περικλείει καινούρια δείγματα εκπαίδευσης προσθέτοντας στην ήδη υπολογισμένη συνάρτηση πυκνότητας την συνάρτηση πυκνότητας του δείγματος.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Πραγματοποιήθηκε ανάλυση τύπου ANOVA (Analysis of Variance) προκειμένου να καθοριστούν οι πιο σημαντικές παράμετροι κινητικής φθορισμού τα οποία σχετίζονται με τη φυσιολογική ηλικία των φυτών μαρουλιού. Στη συνέχεια, οι παράμετροι κινητικής φθορισμού χρησιμοποιήθηκαν ως είσοδοι προκειμένου να τροφοδοτήσουν Ταξινομητές Προτύπων οι οποίοι είχαν ως στόχο την πρόβλεψη της ηλικίας των φυτών. Παρατηρήθηκε ότι ο Ταξινομητής Parzen εμφανίζει καλύτερη απόδοση και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για αυτόματη διάγνωση της ηλικίας στο μαρούλι με βάση μη καταστροφική μέτρηση των παραμέτρων φθορισμού.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Brach E. J., Molnar J. M., Jasmin J. J. Detection of Lettuce Maturity and Variety by Remote Sensing Techniques. Journal of agricultural Engineering Research 22, 45-54, (1977).

Strasser R., Srivastava A.Tsimilli-Michael M (2000).The fluorescence transient as a tool to characterise and screen photosynthetic samples. In: Probing Photosynthesis: Mechanisms, Regulation and Adaptation (Yunus M; Pathre U; Mohanty P, eds), pp 445–483. Taylor & Francis, London.

Tax D.M.J, One-Class Classification, Concept-learning in the absence of counter-examples, ISBN: 90-75691-05-x, 2001.

TRAFFIC MONITORING of an AGRICULTURAL TRAFFIC CROSS-ROAD by IMAGE and VIDEO PROCESSING TECHNIQUES

Ventzas, D[1], Panagiotidi, E, Balabekou I, Vagelas J[1] , Zavrakas G[1], Adam, G[1]
[1]TEI of Larissa, Dpt of Informatics and Telecommunications, e-mail: ventzas@teilar.gr

Image processing techniques are used in traffic monitoring and control for better environment understanding. We expanded these techniques to agricultural cross roads that exist in critical agricultural activities areas and agricultural industries traffic monitoring. These techniques involve, car/vehicles counting, long vehicles identifications, agricultural vehicles recognition, traffic accident, parking conditions monitoring, geometrical measurements, texture analysis, overloading, driving behaviour, etc. We use image and video processing techniques such as: colour / grayscale / binary images, edge detection, colour, point operations, segmentation, morphological image processing, linear image filtering and correlation, image transforms, eigen-images, multi-resolution image processing, wavelets, noise reduction and restoration, feature extraction and recognition tasks, image registration and fusion. Simulation and experimental results are promising especially for educational purposes.

Keywords: Traffic monitoring, lane, object detection, dynamic scene analysis.

Τεχνικές επεξεργασίας εικόνας χρησιμοποιούνται σε καταγραφή και έλεγχο κυκλοφοριακού φορτίου. Επεκτείνουμε αυτές τις τεχνικές σε αγροτικά σταυροδρόμια με αγροτοβιομηχανικές δραστηριότητες. Οι τεχνικές αυτές συμπεριλαμβάνουν απαρίθμηση οχημάτων, ταυτοποίηση μεγάλων οχημάτων, καταγραφή ατυχημάτων και ελιγμών, γεωμετρικές μετρήσεις, ανάλυση υφής, υπερφόρτωσης, συμπεριφοράς οδηγού, κ.λ.π. Χρησιμοποιούμε τεχνικές επεξεργασίας εικόνας και video, όπως: έγχρωμη / γκρίζα / ασπρόμαυρη εικόνα, ανίχνευση ακμών, τελεστές σημείου / μορφολογικούς, τμηματοποίηση, γραμμικών φίλτρων και συσχέτισης, μετασχηματισμούς, ιδιοεικόνες, επεξεργασία πολλαπλής διακριτικής ικανότητας, wavelets, μείωση θορύβου, αποκατάσταση εικόνας, εξαγωγή χαρακτηριστικών ιδιοτήτων αναγνώρισης, χαρακτηρισμός εικόνων και σύντηξη εικόνων και δεδομένων. Τα αποτελέσματα προσομοίωσης και on site μετρήσεων είναι ενθαρρυντικά ιδιαίτερα για εκπαιδευτικούς σκοπούς.

Λέξεις Κλειδιά: *Καταγραφή κυκλοφοριακής κίνησης, λεωφορειολωρίδες, ανίχνευση εμποδίων, δυναμική ανάλυση σκηνής.*

1. INTRODUCTION

This paper provides a review of video analysis tools in agricultural traffic applications. Video processing techniques is a modern research topic in traffic applications due to their fast response, ease of installation, operation and maintenance, and their ability to monitor wide areas; it is feature-driven, area-driven or model-based and the domains of processing are spatial and temporal. Traffic application data collection include traffic flow, turning junctions, road geometry, speed measurement and distribution, multiple point vehicle counts, vehicle classification, shape, patterns, poses, forms, dimensions, symmetry, luminosity, bounding box indicator, vehicle and obstacle detection, vehicle presence (Xie et al, 1994), number of vehicles, highway congestion, incident detection, flows at intersections, queue-lengths, space and time occupancy rates, detection of the lanes, road boundaries, etc (A. Rourke et al, 1989), (Ventzas, 1996, 1986), (Yokogawa, 1987). Traffic monitoring under difficult varying visual conditions includes shadows, lighting, weather, motion, noise, interactions that need improved algorithms (N. Hoose, 1991). Each scene frame represents a non-invertible projection of the dynamically changing 3D world onto the camera plane. By limiting the ROI video processing is minimized.

2. AGRICULTURAL TRAFFIC PROBLEMS

Tractors on the road, see fig. 1, 2, 3, should obey traffic rules and general or specific regulations, e.g. maximum speed. When mud drops by tractors on the road, fatal accidents can occur; improper use or not well serviced trailer lights and direction indicator lights cause serious accidents; impatient drivers in a traffic tailback risk to overtake and cause accidents (Postaire et al, 1986). Special braking, suspension and other driving features qualify for a modern tractor classification with higher speed limits. Exceeding the weight limit i.e. the maximum gross train weight of tractor + trailer + load total weight, is a common illegal behaviour of farmers and drivers. Weight could be ''estimated'' by volumetric measurements or agricultural vehicle mask deformation. When farming machine size exceeds the lane width limit, (Soumelidis et al, 1997), the police must be in advance notified before tractors enter a road.

Fig. 1. Tractor traffic manoeuvres

Fig. 2. Problems of agricultural traffic monitoring

Fig. 3. Agricultural scenes

3. VISION SYSTEM

A visual traffic monitoring system must be fast with short processing time, low processing cost and high reliability, with robust techniques to tolerate inaccuracies in the 3D reconstruction of the scene. Moving or translating camera enhances the traffic scene changes, which is piecewise planar or composed of image segments at different depths, layers including other moving items; noise includes motion effect decomposed into planar and parallax motion effect. The texture of the road (gradient operator on a high-resolution and a low-resolution smoothed image) is different than that of the environment and is classified by pattern recognition techniques. The direction of edges at each pixel can be computed based on the phase of the gradient and a curvature of line segments, (Badenas et al, 2001) (Zhang, 1994).

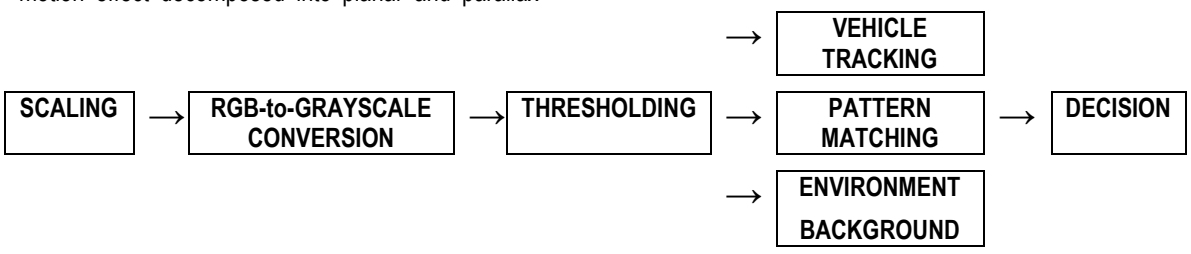


Fig. 4. Image / Frame Processing Chain

4. IMAGE & VIDEO PROCESSING

Brightness, illumination discontinuities reveal edges and lane markings; width and direction detection (Bertozzi et al, 1997, Broggi, 1995), road intersections tracking, road boundaries and curvature are revealed by morphological operators. Shadow edges appear affecting the line tracking approach. Kalman filters estimate the near and far-range road geometry ahead of the vehicle. Simple linear models are used for road boundaries and lane markings. Object detection include thresholding, see fig. 4, textured or colour segmentation and multigrid identification of ROI; a hierarchy of different (coarse to fine) resolutions images, distinguishes objects in the low resolution image, whereas noise is minimal, see fig. 5.

Histogram analysis and Hough transform improves the shape of object regions by extracting consistent contour lines while morphological operations restore small breaks on the detected contours; symmetry is an additional feature for vehicles, while edge information persists in variations of ambient lighting. Techniques are given in Table 1.

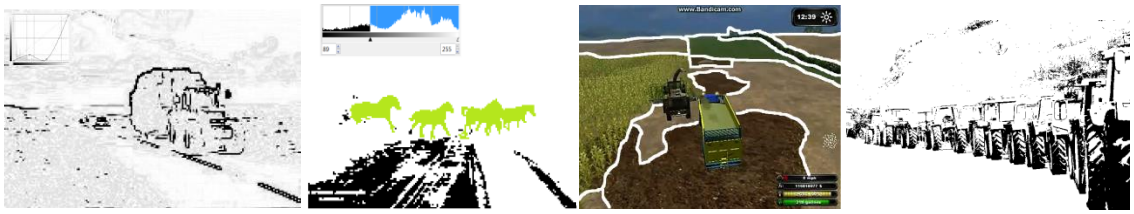


Fig. 5. Image / Frame Processing Techniques for Environment Understanding

4.1. Error Analysis

Noise effects are irrelevant feature of other vehicles on the highway, shadows or cracks in the roadway, features that are not part of the lane structure, etc. The intensity variations do not provide sufficient information to completely determine magnitude and direction of the optical flow field with constant or linearly distributed intensities (Horn et al 1981). Background changes significantly with buildings shadows, clouds, lighting conditions. Detection is achieved by subtracting the background image from the current image and separating moving objects; background is a manually acquired scene without vehicles or by exponential average of successive images and selective updating at regions with no motion. Sensor noise includes quantization, algorithmic disturbances, perspective distortions and occlusion due to camera positions and it affects accuracy. Noise is caused by vehicle movement and calibration drifts in the acquisition system. At low-resolution levels object structures and a crude estimate of the motion field are computed; the motion vector field is refined hierarchically at higher resolution levels. The optical flow field encodes the temporal displacement of observable gray-scale structures within an image sequence with information about the relative displacement of pixels and the spatial structure of the scene based on gradient-based, correlation based, feature-based and multigrid methods.

Video sensors in traffic measurements are efficient, low cost, non-intrusive, low maintenance, installation and operation cost, wide area viewing and emulate conventional sensors (Michalopoulos et al, 1993, 1997). Traditional image processing techniques employ either similarity or edge information to detect roads and vehicles and separate them from background environment, see fig. 6. A vision-based system finds the road geometry and detects and avoids obstacles. Basic traffic management measurements are approach queue length, approach flow profile, ramp queue length, vehicle deceleration, automatic measurement of turning movements and information regarding the environment (Mammar et al, 1994).

Table 1. Major Image / Video Processing Techniques, Tools and Applications		
Time domain process	Spatial domain process	Spatial constraints
Temporal estimation	Temporal tracking of features	Temporal-domain differences
Edge detection	Edges orientation	Thinning operators
Object templates	Color and deformable templates	Similar pixel-intensities in objects
	color classification	local texture classification
Interframe differencing	correlation techniques	Tracking on epipolar plane
Time signature	template matching	Optical flow field
Histogram analysis	multiresolution techniques	localized features
Thresholding	Road skeletal lines	Morphological processing
Background updating	Background removal	Background frame differencing
Spatio-temporal processing	forward perspective mapping	inverse perspective mapping
spatio-temporal signature	image / ground plane	pattern recognition
vehicle segmentation	image / area segmentation	texture classification
Color road detection	color classification	color segmentation
Optical flow field	Next frames edges produce a list of flow vectors	
wavelet domains	spatial smoothness constraints	spatial and temporal gradients
Feature-driven approach	Model-driven approach	Feature tracking
	Autonomous vehicle guidance	Vehicle guidance assistance
3D road-geometry	frame-to-world coordinates	Scene depth
3D to 2D reconstruction	2D to 3D reconstruction	Kalman filter depth estimation
estimation and projection	estimation of range observations	Morphological operators
Tools		
Neural networks	3D object modelling	RLS fitting
Vehicle's state variable	State-variable estimation	Strong constraints
Applications		
Lane detection	Lane following	Lane width
Prior road geometry knowledge	Lanes location and orientation	2 lane road model (3 lane markings)
Dynamically changing environment	smooth road curvature	
Object detection	Vehicle following	Vehicle accurate localization
Vehicle recognition and tracking	Projection	Human perception
Structured / unstructured road geometry reconstruction		
curvature	Hill-and-dale model	local road parameters
Camera		
Static camera	Moving camera	auto-calibration
eliminate motion noise		
Model-driven	Feature-driven	Soft computing techniques
	templates	edge matching
Spatial signature	Spatial-processing	multiresolution estimation
lane position and orientation	lane markings and borders	object discontinuities
Vehicle following	Vehicle recognition and tracking	Motion parallax
Stereo images	Projection of 3D on 2D stereo images	Stereo matching of object lines
Hough transform estimate line model for object edges		

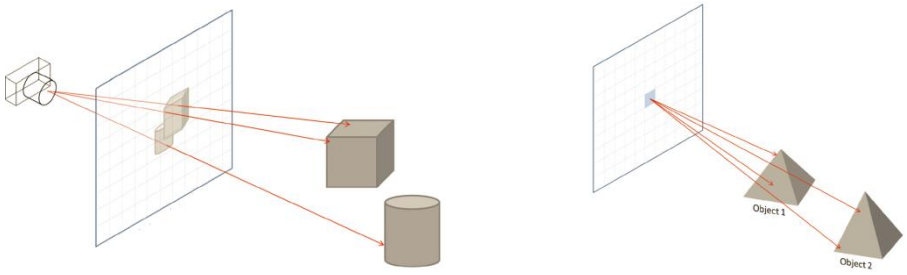


Fig. 6. Optical problems associated with object monitoring

5. DISCUSSION

Our research team implements projects to develop and certify algorithms of image and video processing for low cost monitoring, recognition and control of agricultural vehicles traffic in rural areas, see fig. 7. Computational complexity is a major parameter for real-time traffic monitoring computing. Subsampling of the image speeds up the computation at the cost of resolution and computes the motion field at fewer image points.

6. CONCLUSIONS

In traffic monitoring and especially in agicultural scenes traffic monitoring video processing discrimination ability is promising depending on the image quality, definition and relative vehicle camera position, the complexity of the traffic application scenes and the level of abstraction.

Further work is needed to maximize use and social outcomes from existing traffic monitoring schemes

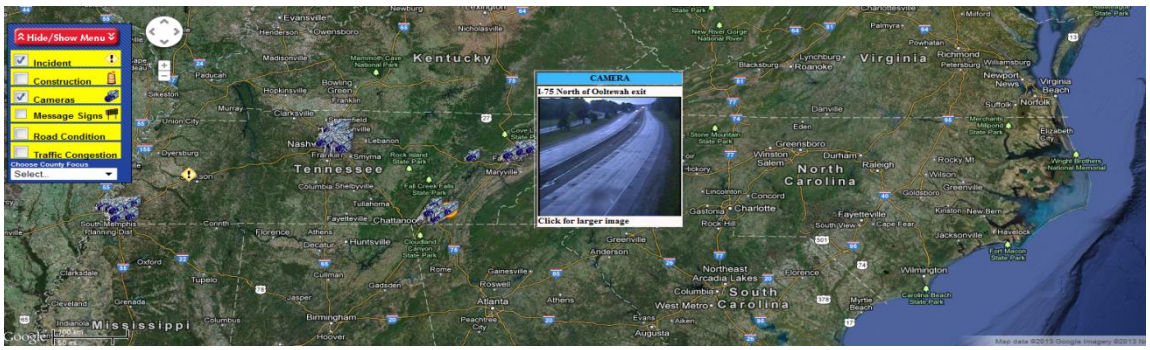


Fig. 7. Traffic monitoring system with video cameras embedded on Google Earth

REFERENCES

J. Badenas, M. Bober, F. Pla, Segmenting traffic scenes from grey level and motion information, Pattern Analysis and Applications 4 (2001) 28–38

M. Bertozzi, A. Broggi, S. Castelluccio, A real-time oriented system for vehicle detection, Journal of System Architecture 43 (1997) 317–325

A. Broggi, Parallel and local feature extraction: a real-time approach to road boundary detection, IEEE Transaction on Image Processing 4 (2) (1995) 217–223

N. Hoose, Computer Image Processing in Traffic Engineering, Taunton Research Studies Press, UK, 1991

B.K.P. Horn, B.G. Schunck, Determining optical flow, Artificial Intelligence 17 (1981) 185–203

S. Mammar, J.M. Blosseville, Traffic variables recovery, IFAC Transportation Systems, Tianjin, (1994)

P.G. Michalopoulos, R.D. Jacobson, C.A. Anderson, T.B. DeBruycker, Automatic Incident Detection Through Video Image Processing, Traffic Engineering Control February (1993) 66–75

P.G. Michalopoulos, D.P. Panda, Derivation of advanced traffic parameters through video imaging, IFAC Transportation Systems Chania, Greece (1997)

J.G. Postaire, P. Stelmaszyk, P. Bonnet, A visual surveillance system for traffic collision avoidance control, IFAC Transportation Symposium International Federation of Automatic Control, Laxenburg, Austria (1986)

A. Rourke, M.G.H. Bell, Applications of low cost image processing technology in transport, Proceedings of the World Conference on Transport Research, Japan (1989) 169–183

A. Soumelidis, G. Kovacs, J. Bokor, P. Gaspar, L. Palkovics, L. Gianone, Automatic detection of the lane departure of vehicles, IFAC Transportation Systems Chania, Greece (1997)

Ventzas D.E, Industrial Electronic Measurements and Technology, Lecture Notes, TEI Lamia, Dpt. Electronics Eng, Lamia, Greece, 1996

Ventzas, D, A Microprocessor-Based Low Cost GreenHouse controller Scheme, ISMM International Symposium on Mini and Microcomputers and Microcomputers Applications, Texas, 10-12/11, 1986, ISMM

M. Xie, L. Trassoudaine, J. Alizon, J. Gallice, Road obstacle detection and tracking by an active and intelligent sensing strategy, Machine Vision and Applications 7 (1994) 165–177

Yokogawa Hokushin Electric Co, Skyfarm, 1987, Tokyo, Japan

J. Zhang, H. Nagel, Texture-based segmentation of road images, Proceedings of IEEE, Symposium on Intelligent Vehicles 94, IEEE Press, Piscataway, NJ, 1994

The research is implemented through the Operational Program "Education and Lifelong Learning" and is co-financed by the European Union (European Social Fund) and Greek national funds, under the Research Project Archimedes III with title « INTELLIGENT MONITORING of TRAFFIC LOAD and FLOW of VEHICULAR CROSSROADS with IMAGE and VIDEO PROCESSING TECHNIQUES ».

Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ
ΕΣΠΑ 2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ
Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

ΓΕΩΡΓΙΑ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ ΣΤΑ ΑΧΛΑΔΙΑ: ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΧΑΡΤΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΜΕ NDVI ΚΑΙ ΑΝΘΟΦΟΡΙΑ

Α. Ζάχου, Β. Λιάκος, Α. Βατσανίδου, Σ. Φουντάς και Θ. Γέμτος
Εργαστήριο Μηχανολογίας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, Τμ. Γεωπονίας, Φυτικής Παρ/γής και Αγρ. Περιβάλλοντος, Οδός Φυτόκου, Ν. Ιωνία Μαγνησίας, Τ.Κ. 38446

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται αποτελέσματα μονοετούς έρευνας που πραγματοποιήθηκε το 2011 σε οπωρώνα αχλαδιάς πέντε στρεμμάτων στην περιοχή του Τυρνάβου στην Κεντρική Ελλάδα. Η έρευνα εστίασε στην εκτίμηση της συσχέτισης που μπορεί να έχει η παραγωγή με διάφορα χαρακτηριστικά της καλλιέργειας. Πραγματοποιήθηκε χαρτογράφηση της παραγωγής, καθώς θεωρείται το βασικό στοιχείο για την ανάπτυξη ενός συστήματος Γεωργίας Ακριβείας. Επίσης, αποτυπώθηκε η ανθοφορία των δένδρων σε ψηφιακές φωτογραφίες, όπως επίσης πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις του δείκτη βλάστησης κανονικοποιημένης διαφοράς (NDVI) στην κόμη των δένδρων σε διαφορετικές χρονικές περιόδους που αντιστοιχούσαν σε διαφορετικά στάδια ανάπτυξης του καρπού. Για το σκοπό της έρευνας δημιουργήθηκαν διαγράμματα συσχέτισης, ώστε να βρεθεί πιθανή σχέση ανάμεσα στην ανθοφορία και το NDVI με την παραγωγή. Η ανάλυση των αποτελεσμάτων έδειξε σημαντική παραλλακτικότητα σε παράγοντες όπως η παραγωγή και το NDVI, πιθανών λόγω της μεγάλης παραλλακτικότητας των ιδιοτήτων των εδαφών. Συγκεκριμένα, ο συντελεστής παραλλακτικότητας για την παραγωγή ήταν 32% που είναι υψηλός αν ληφθεί υπόψη η έκταση του οπωρώνα. Ο συντελεστής συσχέτισης ανάμεσα στην παραγωγή και την ανθοφορία ήταν r=0,6 και η τιμή του συντελεστή συσχέτισης μεταξύ παραγωγής και NDVI κυμαίνονταν μεταξύ 0,2 και 0,3 αποδεικνύοντας μια γενική τάση για θετική συσχέτιση ανάμεσα στις παραμέτρους που μελετήθηκαν και την παραγωγή. Συμπερασματικά, τα αποτελέσματα θα μπορούσαν να βοηθήσουν στην εύρεση μεθόδων για βελτιωμένη διαχείριση της καλλιέργειας αχλαδιών, όπως επίσης και για μια έγκαιρη πρόβλεψη της παραγωγής που είναι πολύ σημαντικό για τους αγρότες και την αγορά.

Λέξεις κλειδιά: αχλαδιά, Γεωργία Ακριβείας, παραγωγή, ανθοφορία, NDVI, παραλλακτικότητα, συσχέτιση

PRECISION AGRICULTURE IN PEARS: CORRELATIONS OF YIELD WITH VEGETATION INDEXES AND FLOWERING

A. Zachou, V.Liakos, A.Vatsanidou, S.Fountas and T.Gemtos
Laboratory of Agricultural Machinery, Department of Agriculture Crop Production and Rural Environment, University of Thessaly, Fytokou Street, N. Ionia, GR-38446, Volos, Greece
alicia_za285@hotmail.com, bill.406@hotmail.com, vatsanidou@gmail.com, sfountas@uth.gr, gemtos@uth.gr

The present study presents the results of a one year research which was carried out in 2011 at a five acre pear orchard at the area of Tirnavos in the Central Greece. The research focuses on the evaluation of the correlation that may exist between the yield production and some characteristics of the pear cultivation. Yield mapping was accomplished, as it is considered to be the primary element for the development of a Precision Agriculture system. Also, the tree flowering was captured by digital cameras, as well as the normalised difference vegetation index (NDVI) was measured at different fruit development stages. For the purpose of the research correlation diagrams were made, so that potential correlation between flowering and yield and NDVI and yield to be found. The analysis of the results showed significant variability in factors like yield and NDVI, probably because of the significant variability of the soil characteristics. Specifically, the variability coefficient of the yield was 32% which is high if we take into consideration the extent of the orchard. The correlation coefficient between the yield and the flowering was r=0,6 whereas the value of the correlation coefficient between the yield and the NDVI varies between 0,2 and 0,3 confirming one general trend of positive correlation between the parameters which were studied and the yield. In conclusion, the results could help to find methods for the improvement of the pear management, as well for an in time yield prediction which is very important for the farmers and the market.

Key words: pears, Precision Agriculture, yield, flowering, NDVI, variability, correlation

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σήμερα οι παραγωγοί, για να επιβιώσουν στο διεθνή ανταγωνισμό, θα πρέπει να παράγουν προϊόντα υψηλής ποιότητας και χαμηλής τιμής, χρησιμοποιώντας μεθόδους φιλικές προς το περιβάλλον. Οι νέες εφαρμογές της τεχνολογίας και της ηλεκτρονικής φαίνεται να έχουν μεγάλη δυνατότητα να αντιμετωπίσουν αυτά τα θέματα. Η νέα τεχνολογία παρέχει τη δυνατότητα για αύξηση της παραγωγικότητας στη γεωργία καθώς οι διαθέσιμοι πόροι περιορίζονται αρκετά. Συγκεκριμένα, στη συμβατική γεωργία, θεωρώντας τον αγρό σα μια ομοιόμορφη περιοχή με σταθερές φυσικές, χημικές και μορφολογικές ιδιότητες, αυξάνεται το κόστος παραγωγής και προκαλείται υποβάθμιση του περιβάλλοντος. Με την ανάπτυξη των αισθητήρων παραγωγής στη δεκαετία του 90 αποκαλύφθηκε ότι η υπόθεση του ομοιογενούς χωραφιού ήταν λάθος. Μια νέα τάση που φαίνεται να κερδίζει συνεχώς έδαφος είναι η Γεωργία Ακριβείας. Το χαρακτηριστικό είναι ότι αντί να γίνονται οι καλλιεργητικές φροντίδες με βάση τις μέσες τιμές παραγωγής και γονιμότητας του εδάφους είναι δυνατή η εφαρμογή διαφορετικών για κάθε τμήμα του αγρού.

Από την εισαγωγή φαίνεται ότι η Γεωργία Ακριβείας έχει εφαρμοστεί κυρίως σε φυτά μεγάλης καλλιέργειας όπου η καλλιέργεια είναι εκμηχανισμένη. Είναι πολύ ενδιαφέρον να δούμε τα αποτελέσματα της εφαρμογής των τεχνικών της Γεωργίας Ακριβείας σε υψηλής αξίας καλλιέργειες όπως για παράδειγμα τα φρούτα, έτσι ώστε να βελτιώσουμε την παραγωγή και την ποιότητά τους και να ελαχιστοποιήσουμε τις αρνητικές επιδράσεις στο περιβάλλον. Οι δενδρώδεις καλλιέργειες όπως η αχλαδιά είναι από τις πιο σημαντικές καλλιέργειες για τη χώρα μας. Παρόλα αυτά δεν έχει διερευνηθεί η δυνατότητα εφαρμογής της Γεωργίας Ακριβείας στην καλλιέργεια της αχλαδιάς στη χώρα μας.

Το αντικείμενο της παρούσας εργασίας είναι να μελετηθεί η χωρική παραλλακτικότητα της παραγωγής και του NDVI καθώς και η σχέση της παραγωγής με το NDVI και την ανθοφορία σε έναν οπωρώνα αχλαδιών με στόχο να διερευνηθεί η δυνατότητα εφαρμογής της Γεωργίας Ακριβείας στον οπωρώνα αυτό.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1. Ο οπωρώνας

Τα πειράματα έγιναν σε έναν εμπορικό οπωρώνα που βρίσκεται στην περιοχή του Τύρναβου της Λάρισας. Πρόκειται για μια περιοχή που τα τελευταία 30 χρόνια έχουν αναπτυχθεί έντονες αγροτικές εκμεταλλεύσεις αποτελούμενες κυρίως από δενδρώδεις καλλιέργειες (κυρίως αχλαδιές, ροδακινιές), αμπέλια, καλαμπόκι, μηδική και βαμβάκι.

Ο οπωρώνας που μελετήθηκε έχει έκταση 5 στρέμματα και περιλαμβάνει την ποικιλία Coscia σε 10 γραμμές. Η καλλιέργεια έχει διαμόρφωση ελεύθερης παλμέττας. Στο πείραμα αυτό λήφθηκαν μετρήσεις για το έτος 2011.

2.2 Η καλλιέργεια

Η ποικιλία που μελετήθηκε στην εργασία αυτή και έχει ιδιαίτερο ενδιαφέρον για την πατρίδα μας είναι η Coscia.

Η ποικιλία Coscia έχει καρπούς καλής γεύσης, πιο γλυκούς και λιγότερο στιφούς από άλλες καλοκαιρινές ποικιλίες. Δέντρο μέσης ζωηρότητας, παράγει καρπούς μεσαίου μεγέθους, κίτρινου χρώματος, μέτριας γεύσης, δε συντηρείται στο ψυγείο. Ωριμάζει το δεύτερο 15νθήμερο του Ιουλίου. Καλός επικονιαστής των ποικιλιών Τσακώνικη και Κοντούλα. Είναι αυτόστειρη ποικιλία, χρειάζεται επικονιαστή. Οι ποικιλίες που αναφέρθηκαν την επικονιάζουν. Σχετικά ανθεκτική στο βακτήριο Erwinia amylovora που προκαλεί την ασθένεια βακτηριακό κάψιμο.

2.3 Μετρήσεις

2.3.1 Χαρτογράφηση ανθοφορίας

Τον Απρίλιο του 2011 έγινε εκτίμηση του αριθμού των ανθέων ανά δέντρο. Με τη χρήση μιας ψηφιακής φωτογραφικής κάμερας Olympus E-420 λαμβάνονταν φωτογραφίες της ανθισμένης κόμης σειρά ανά σειρά, δέντρο ανά δέντρο. Έπειτα, οι φωτογραφίες επεξεργάστηκαν με ειδικό πρόγραμμα επεξεργασίας εικόνων GIMP έτσι ώστε να διακριθούν καλύτερα τα άνθη για να καταμετρηθούν. Η παραγωγή των δέντρων στα οποία εκτιμήθηκε η ανθοφορία μετρήθηκε τον Αύγουστο με σκοπό να γίνει συσχέτιση της ανθοφορίας με την παραγωγή του τρέχοντος έτους.

Εικόνα 2.1. Εκτίμηση του αριθμού των ανθέων

2.3.2 Χαρτογράφηση παραγωγής

Η χαρτογράφηση παραγωγής πραγματοποιήθηκε με ζύγιση των κιβωτίων που περιείχαν τους καρπούς και ταυτόχρονη καταγραφή της θέσης τους. Τα αχλάδια συλλέγονταν με το χέρι και τοποθετούνταν σε πλαστικά κιβώτια τα οποία τοποθετούνταν σε πλατφόρμα η οποία κινούνταν κατά μήκος της γραμμής των δέντρων. Σε κάθε σειρά δέντρων ζυγίστηκε η παραγωγή ανά πέντε δέντρα και έγινε καταγραφή των γεωγραφικών συντεταγμένων στο κέντρο της πεντάδας των δέντρων. Έτσι, σε κάθε σημείο του χάρτη παραγωγής αντιστοιχεί η παραγωγή από πέντε συνεχόμενα δέντρα πάνω στη γραμμή. Η χαρτογράφηση παραγωγής πραγματοποιήθηκε για το έτος 2011 στις αρχές Αυγούστου.

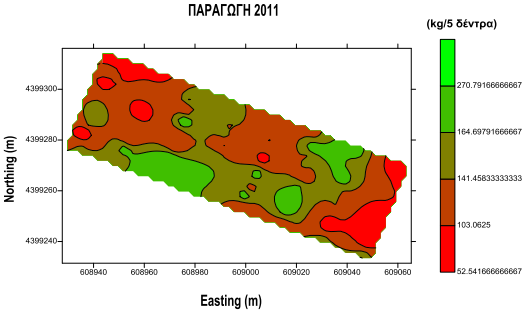
2.3.3 Μέτρηση NDVI

Από το Μάιο έως τον Ιούλιο του 2011 λήφθηκαν τέσσερις μετρήσεις NDVI με Crop Circle σε δύο ύψη της κόμης του δέντρου, στην κορυφή και στη μέση της κόμης. Η πρώτη μέτρηση λήφθηκε στις 15/5 με σκοπό να συμπίπτει με την πλήρη άνθηση της καλλιέργειας. Η δεύτερη μέτρηση έγινε στις 29/5 κατά το στάδιο ανάπτυξης 7, όπου ο μέσος όρος διαμέτρου των καρπών είναι 2,6 cm. Η τρίτη μέτρηση στις 17/6 έγινε κατά το στάδιο ανάπτυξης T-stage, όπου ο μέσος όρος διαμέτρου των καρπών είναι 3,8 cm και η τέταρτη και τελευταία μέτρηση ήταν στο στάδιο ανάπτυξης όπου ο καρπός είχε φτάσει στο 60% του τελικού του μεγέθους και ο μέσος όρος διαμέτρου του είναι 4,41 cm, στις 1/7.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

3.1 Χαρτογράφηση Παραγωγής

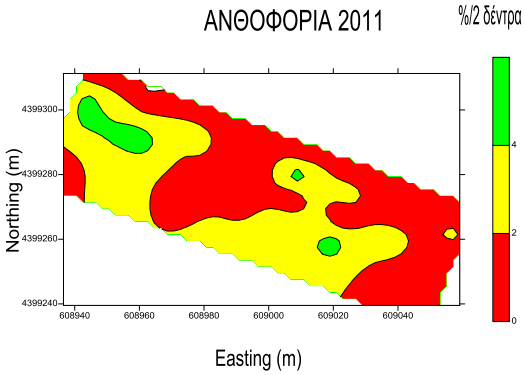
Η ποικιλία Coscia είχε κατά μέσο όρο για το έτος 2011 παραγωγή 134,36 κιλά/5 δέντρα. Ο συντελεστής παραλλακτικότητας ήταν γύρω στο 32% που είναι υψηλός αν ληφθεί υπόψη η έκταση του οπωρώνα που είναι μόλις 5 στρέμματα. Στην Εικόνα 3.1 παρουσιάζεται ο χάρτης παραγωγής για την ποικιλία Coscia για το έτος 2011 του πειράματος. Από το χάρτη αυτό φαίνεται η χωρική παραλλακτικότητα στην παραγωγή. Η παραγωγή το έτος 2011 κυμάνθηκε από 52-270 κιλά/5 δέντρα και φαίνεται μια τάση στο νότιο τμήμα του οπωρώνα να έχει χαμηλότερη παραγωγή από το βόρειο τμήμα του.



Εικόνα 3.1. Χάρτης παραγωγής για την ποικιλία Coscia για το έτος 2011

3.2 Χαρτογράφηση Ανθοφορίας

Την Άνοιξη του έτους 2011 έγινε εκτίμηση του αριθμού των ανθέων ανά δέντρο με τη μέθοδο της ανάλυσης εικόνων. Η παραγωγή των δέντρων στα οποία εκτιμήθηκε η ανθοφορία μετρήθηκε το επόμενο καλοκαίρι με σκοπό να γίνει συσχέτιση της ανθοφορίας με την παραγωγή του τρέχοντος έτους. Από την ανάλυση των δεδομένων προέκυψε ότι ο αριθμός των ανθέων είχε θετική συσχέτιση με την παραγωγή του τρέχοντος έτους. Ο συντελεστής συσχέτισης ήταν r=0,6. Ο χάρτης ανθοφορίας για την ποικιλία Coscia παρουσιάζεται στην Εικόνα 3.2. Αυτό είναι ιδιαίτερα ενδιαφέρον διότι η αρχική ανθοφορία φαίνεται να επηρεάζει την τελική παραγωγή ανεξάρτητα από τις ενδιάμεσες καλλιεργητικές φροντίδες όπως αραίωμα κλπ.



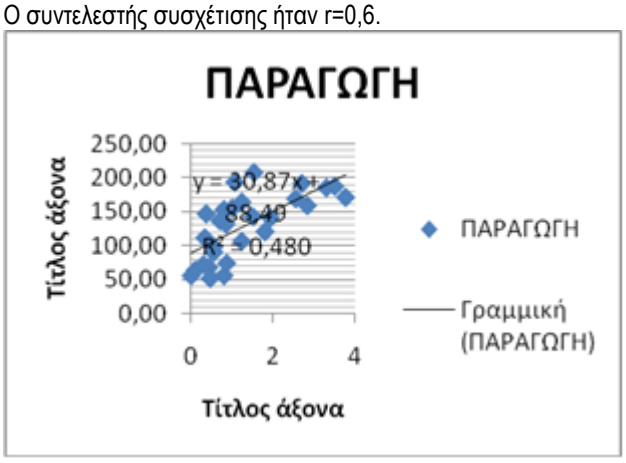
Εικόνα 3.2. Χάρτης ανθοφορίας έτους 2011 για την ποικιλία Coscia

3.3 Συσχετίσεις παραγωγής και NDVI

Για την πρώτη ημέρα μετρήσεων του NDVI μέσα στο Μάιο δηλαδή στις 15/5/2011 βρέθηκε θετική συσχέτιση μεταξύ παραγωγής και NDVI που σημαίνει ότι όσο αυξάνεται η παραγωγή ανά δέντρο αυξάνεται και η τιμή του NDVI. Ο συντελεστής συσχέτισης ήταν και για την άνω και για τη μέση κόμη r=0,3. Μέσα στο Μάιο πάρθηκε ακόμα μία μέτρηση NDVI στις 29/5/2011. Η συσχέτισή της με την παραγωγή βρέθηκε και αυτή θετική με συντελεστή συσχέτισης για την άνω κόμη r=0,3 και για την μέση κόμη r=0,3. Επίσης θετική βρέθηκε και η συσχέτιση μεταξύ της παραγωγής και του NDVI το οποίο μετρήθηκε στις 17/6/2011 με συντελεστή συσχέτισης για την άνω και τη μέση κόμη r=0,3 και r=0,3 αντίστοιχα. Τέλος, παρατηρήθηκε θετική συσχέτιση με την παραγωγή και με τις μετρήσεις του NDVI στις 1/7/2011 με συντελεστή συσχέτισης r=0,2 για την άνω και r=0,3 για τη μέση κόμη.

3.4 Συσχετίσεις παραγωγής και ανθοφορίας

Παρατηρήθηκε θετική συσχέτιση μεταξύ παραγωγής και ανθοφορίας για το έτος 2011 που σημαίνει ότι όσο αυξάνεται το ποσοστό της ανθοφορίας ανά δέντρο αυξάνεται και η παραγωγή. Ο συντελεστής συσχέτισης ήταν r=0,6.



Εικόνα 3.3. Διάγραμμα συσχέτισης μεταξύ παραγωγής και ανθοφορίας

4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Η παραλλακτικότητα που παρουσιάστηκε στην παραγωγή σημαίνει ότι η μέθοδος διαχείρισης που εφαρμόζεται στον οπωρώνα μελέτης δεν παρέχει τις κατάλληλες καλλιεργητικές τεχνικές σε όλες τις περιοχές του αγρού. Δεδομένου ότι ο οπωρώνας είναι επίπεδος θεωρούμε ότι η τοπογραφία του δεν επηρεάζει την παραγωγή. Αντίθετα, οι ιδιότητες του εδάφους είναι πολύ πιθανό να αλλάζουν από σημείο σε σημείο του αγρού με αποτέλεσμα να επηρεάζουν και την παραγωγή. Επίσης, οι καλλιεργητικές φροντίδες όπως λίπανση και άρδευση αν δεν εφαρμόζονται σωστά παίζουν ένα πολύ σημαντικό ρόλο στην τελική παραγωγή. Τέλος, τυχόν παρασιτισμοί σε συγκεκριμένα δέντρα ή σημεία του αγρού έχουν ως αποτέλεσμα την επιρροή στην παραγωγή και κατ' επέκταση στη χωρική κατανομή της παραγωγής. Έτσι, η μεγάλη παραλλακτικότητα στην παραγωγή μπορεί να οφείλεται στο γεγονός ότι η περιοχή που βρίσκεται ο οπωρώνας είναι πεδινή και οι εδαφοκλιματικές συνθήκες ίσως δεν είναι οι κατάλληλες για επίτευξη υψηλής παραγωγής.

Στους χάρτες NDVI φαίνεται η χωρική παραλλακτικότητα στο NDVI. Παρατηρούμε μια τάση στο βόρειο τμήμα του οπωρώνα να έχει χαμηλότερες τιμές NDVI από το νότιο τμήμα του. Οι διαφορετικές τιμές NDVI σε συγκεκριμένα τμήματα του οπωρώνα και κατ' επέκταση η χωρική παραλλακτικότητα του NDVI δείχνει διαφορές στην πυκνότητα βλάστησης του αγρού και στην κατάσταση της υγείας των δέντρων κάτι που οφείλεται κατά κύριο λόγο στις καλλιεργητικές πρακτικές που εφαρμόζονται στον οπωρώνα. Ένας λόγος της χωρικής παραλλακτικότητας στο NDVI θα μπορούσε να ήταν το γεγονός ότι αρκετά δέντρα ειχαν αντικατασταθεί και στη θέση τους είχαν φυτευτεί καινούργια. Όσον αφορά τη συσχέτιση της παραγωγής με το NDVI από την ανάλυση των δεδομένων προέκυψε ότι οι τιμές του NDVI σε όλα τα διαφορετικά στάδια ανάπτυξης της καλλιέργειας είχαν θετική συσχέτιση με την παραγωγή. Ο συντελεστής συσχέτισης ήταν σχεδον για όλες τις ημερομηνίες r=0,3. Αυτή είναι μια χαμηλή τιμή η οποία καθιστά την ανάγκη λήψης περισσότερων δεδομένων από περισσότερες χρονίες και περισσότερα αγροκτήματα για την ισχυροποίηση των αποτελεσμάτων.

Από την ανάλυση των δεδομένων προέκυψε ότι ο αριθμός των ανθέων είχε θετική συσχέτιση με την παραγωγή του τρέχοντος έτους. Ο συντελεστής συσχέτισης ήταν r=0,6. Ο χάρτης ανθοφορίας θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για να γίνει πρόβλεψη της παραγωγής αλλά και της χωρικής κατανομής της από την Άνοιξη που είναι πολύ σημαντικό για τον παραγωγό και την αγορά. Επίσης θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για την εφαρμογή λίπανσης και χημικού αραιώματος καρπών με μεταβλητές δόσεις, με σκοπό να επιτευχθεί οικονομία χρημάτων και μείωση των αρνητικών επιπτώσεων στο περιβάλλον από τη χρήση χημικών.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από το ένα έτος του πειράματος παρατηρήθηκε ότι υπάρχει σημαντική χωρική παραλλακτικότητα στην παραγωγή και στο NDVI, παρόλο το μικρό μέγεθος του οπωρώνα. Η ύπαρξη αυτής της παραλλακτικότητας υποδηλώνει ότι μπορούν να εφαρμοστούν συστήματα Γεωργίας Ακριβείας στον οπωρώνα.

Ο συντελεστής συσχέτισης μεταξύ της παραγωγής και της ανθοφορίας ήταν r=0,6. Το αποτέλεσμα αυτό είναι πολύ ενδιαφέρον διότι μας δείχνει ότι η ανθοφορία φαίνεται να επηρεάζει την παραγωγή ανεξάρτητα από τις ενδιάμεσες καλλιεργητικές φροντίδες.

Οι συντελεστές συσχέτισης μεταξύ της παραγωγής και του NDVI στα διάφορα στάδια ανάπτυξης της καλλιέργειας ήταν μικρότεροι από τον συντελεστή συσχέτισης μεταξύ της παραγωγής και της ανθοφορίας και κυμάνθηκαν από 0,2-0,3. Το αποτέλεσμα αυτό είναι πολύ ενδιαφέρον διοτί μας δείχνει ότι παρόλο που η τιμή συσχέτισης ήταν χαμηλή ο δείκτης NDVI φαίνεται να μπορεί να συσχετιστεί με την παραγωγή.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Περιοδικά

Guijarrro, M., Pajares, G., Riomoros, I., Herrera, P., Burgos-Artizzu, X., Ribeiro, A., 2010. Automatic segmentation of relevant textures in agricultural images. Computers and Electronics in Agriculture 75 (2011) 75-83.

Lee, W., Alchanatis, V., Yang, C., Hirafuji, M., Moschou, D., Li, C., 2010. Sensing technologies for precision specialty crop production. Computers and Electronics in Agriculture 74 (2010) 2-33.

Panda, S., Hoogenboom, G., Paz, J., 2010. Remote Sensing and geospatial technological applications for site-specific management of fruit and nut crops: A review. Remote Sensing 2010, 2, 1973-1997.

Perry, E., Dezzani, R., Seavert, C., Pierce, F., 2010. Spatial variation in tree characteristics and yield in a pear orchard. Precision Agric (2010) 11:42-60.

Veltman, R., Kho, R., van Schaik, ., Sanders, M., Oosterhaven, J., 2000. Ascorbic acid and tissue browning in pears (Pyrus communis L. cvs Rocha and Conference) under controlled atmosphere conditions. Postharvest Biology and Technology 19 (2000) 129 – 137

Κεφάλαια Βιβλίων

Μηνοπούλου, Χ., 2007. Ανάπτυξη καρπών μηλιάς και αχλαδιάς και φυσικοχημικές μεταβολές τους. Πτυχιακή εργασία-Σχολή Τεχνολογίας Γεωπονίας-Τμήμα Φυτικής Παραγωγής, 2007.

Πρακτικά Συνεδρίων

Aggelopoulou, K., Rapos, E., Markinos, A., Nanos, G., Gemtos, T., 2005. Precision farming in apple orchard: correlating yield maps and quality. 5th European Conference for Precision Agriculture, June 2005, Upsala, Sweden. Book of abstracts, p 23-24.

Fountas, S., Blackmore, S., Gemtos, T., Markinos, A., 2004. Trend yield maps in Greece and the UK. 2nd HAICTA Conference Proceedings. Vol 2 p 309-319, Thessaloniki.

Hellebrand, H., Umenda, M., 2004. Soil and plant sensing for precision agriculture. 1st Asian Conference on Precision Agriculture, Kuala Lumpur Malaysia, 11-13 May 2004

Meuleman, K., Coppin, P., Debacker, S., Debruyn, W., Nackaerts, K., Scheunders, P., Sterckx, S., 2003. Optimal hyperspectral indicators for stress detection in orchards. Presented at the 3rd EARSel Workshop on Imaging Spectroscopy, Herrsching, 13-16 May 2003.

Paris, J., 2005. Precision Remote Sensing and image processing for Precision Agriculture. Presented to Colorado State University, Fort Collins, CO, October 20, 2005.

Pokrajac, D., Lazarevic, A., Vucetic, S., Fiez, T., Obradovic, Z., 1999. Image Processing in Precision Agriculture. Telecommunications in Modern Satellite, Cable and Broadcasting Services, 1999. 4th International Conference on 13-15 Oct. 1999, pp. 616 - 619 vol.2.

Snyder, R.L., Spano, D., Cesaraccio, C., Duce, P. 2002. Phenological responses of pear trees to heat units. Proc. of the 16th International Congress on Biometeorology, Kansas City, Missouri, USA, 28 October – 1 November 2002, 384-385.

Γέμτος, Θ., Φουντάς, Σ., Μαρκινός, Α., Blackmore, S., 2003. Γεωργία Ακριβείας: Προοπτικές εφαρμογής στην Ελλάδα και στη Νότια Ευρώπη. Πρακτικά 3ου Πανελληνίου Συνεδρίου Γεωργικής Μηχανικής, Μάιος 29-31, 2003.

Καρυδάς, Χ. και Συλλαίος, Ν., 2000. Γεωργια Ακριβειας: Περιγραφη της μεθοδου – Υφισταμενη κατασταση και προοπτικες. 2ο ειδικό συνέδριο "Πληροφορικακά συστήματα στον Αγροτικό Τομέα" της Ελληνικής Εταιρείας Επιχειρησιακών Ερευνών, Χανιά, 10/2000, Πρακτικά: σελ. 134-146.

Αγγελάκη Α. 219
Αγγελοπούλου Αικ. 476
Αδάμ Γ. 557
Αθανασίου Α. 283
Αλεξάκης Σ. 496
Αλεξανδρής Σ. 110 187
Αλεξόπουλος Α. 289
Αλτιναλμάζης Α. 160
Αναγνωστόπουλος Δ. 7 17 26
Αναστασίου Δ. 337 345
Ανέστης Β. 531
Αντωνιάδης Β. 37 52 61 83
Αντωνιάδης Δ. 365
Αντωνίου Α. 456
Αντωνόπουλος Α. 123
Αντωνόπουλος Β. 71 97 117
Αντωνόπουλος Ζ. 123
Αποστόλου Κ. 466
Αραβαντινός-Καρλάτος Ε. 252 257 273 298
Αρβανίτης Κ. 486 496
Αργυροκαστρίτης Ι. 187 192 198
Ασχονίτης Β. 57
Αυγουστή Αυγ. 171 310 515
Αϋφαντή Σ. 466
Βαγγέλας Ι. 456 557
Βασιλάκογλου Ι. 241
Βατσανίδου Α. 526 562
Βέντζας Δ. 557
Βλαχογιάννης Μ. 456
Βλόντζος Γ. 471
Βογιατζής Ι. 377
Βύρλας Π. 42 130
Γαλιατσάτου Π. 203
Γέμτος Θ.Α. 7 17 22 26 476 510 515 520 526 547 562
Γεωργακάκης Δ. 321
Γεωργιάδης Αν. 171 310
Γεωργίου Κ. 61
Γεωργίου Π. 97 103 117 123 135
Γιαλαμά Α. 12
Γιαλαμά Μ. 12
Γιαλαμάς Θ. 2 12 171
Γιαννόπουλος Δ. 268
Γιαννόπουλος Σ. 165
Γιαννούλη Δ. 117
Γιαννούλης Α. 268
Γιούσσεφ Α. 531
Γκουγκουλιάς Ν. 42 241
Γράβαλος Ι. 2 12 171 310 456 501 515 536

Γρουμπός Π. 397
Δασκαλάκη Γ. 471
Δενιζοπούλου Α. 407
Δημάκας Δ. 92
Δημήρκου Α. 61 83
Δημητριάδης Χ. 12
Δημητρίου Ε. 542
Διαμαντούλης Ι. 37
Εξαδάκτυλος Β. 531
Ευαγγελίδης Χ. 165 182
Ζαβράκας Γ. 557
Ζαφειράκης Π. 413
Ζάχου Α. 562
Ζέρβας Δ. 42
Ζήσης Θ. 214
Ζορμπά Δ. 182
Ηλίας Α. 203 224
Θεοδωρίδου Σ. 66
Θεοχάρης Μ. 391 445
Θοδωρή Μ. 321
Ιατρού Μ. 66
Ιωάννου Ζ. 83
Καβαλάρης Χ. 7 17 22
Καβαλιεράτου Σ. 230
Καλαμάρας Σ. 440
Καλλιτσάρη Χ. 57
Καλογερόπουλος Κ. 66
Καλφούντζος Δ. 42 130 235 241 456
Καραβάς Χ. Σ. 496
Καραβίτης Χ. 110
Καραμούζης Δ. 135
Καραμούτης Χ. 7
Καρατάσιου Ε. 176
Κάργας Γ. 47 140 151 156 160
Καρούσος Ι. 263 273 294
Καρπούζος Δ. 135 224
Κασαμπαλής Δ. 552
Κασαπάκης Ι. 419
Κατέρης Δ. 2 12 171 310 515 536 552
Κατσαΐτη Χ.Α. 386
Κατσούλας Ν. 353 365 425 430 435 466 471
Καυγά Αγγ. 402
Καφούρος Α. 298
Καψοσιδέρης Φ. 219
Κερκίδης Π. 47 140 156 192 198
Κίττα Ε. 365
Κίττας Κ. 246 365 382 425 430 435 451 466 471
Κλάδου Α. 151

Κόκκορα Μ. 42
Κοσμόπουλος Α-Μ. 461
Κότσιρας Αν. 425
Κούγιας Π. 440
Κουκούλη Σ. 32
Κουνδουράς Στ. 547
Κουτρούμπας Σ. 52
Κυπαρίσση Σ. 66
Κυριακαράκος Γ. 496 542
Κυρίκου Ι. 359
Κωνσταντάκος Σ. 219
Κωστοπούλου Σ.Κ. 57
Κωτσόπουλος Θ. 386 440 461
Κωτσόπουλος Σ. 456
Λαγού Κ. 425
Λαμπρινός Γρ. 252 257 263 273 294 298 304 337 345 481
Λαμπροπούλου Α. 156
Λεκάκης Εμ. 71 97
Λέλλης Θ. 241
Λέντζου Δ. 263 273 294 298
Λιάκος Β. 515 526 547 562
Λιάκου Κ. 61
Λιβιεράτος Ι. 471
Λόντρα Π. 160
Λουτρίδης Σ. 171
Λουφοπούλου Μ. 326
Μαλέτσικα Π. 353
Μαλτέζος Π. 52
Μανδαράκα Ι. 187
Μανδρούκας Χ. 440
Μαντά Π. 22
Μανωλοπούλου Ε. 278 289 294 481
Μαρκοπούλου Αικ. 61
Μαρτζόπουλος Γ. 377 440 461
Μεϊμάρης Μ. 156
Μητροσύλης Δ. 160
Μόλλα Αικ. 61
Μόσχου Δ. 2 326 536 552
Μουζάκης Π. 252 257
Μπακιρτζής Κ. 176
Μπαλαμπέκου Ε. 557
Μπαλαφούτης Αθ. 316
Μπαλτζώη Π. 246
Μπαμπατζιμόπουλος Χ. 224 230
Μπάμπου Ε. 359
Μπαρτζάνας Θ. 246 382 430 435 451
Μπεγλόπουλος Ν. 176
Μπελιτσιώτης Π. 435

Μπόμπολας Ε. 171
Μπότα Β. 176
Μπουγά Β. 397
Μπούντλα Αρ. 66
Μπουντουβής Α. 283
Μπουραζάνης Γ. 140 192 198
Μπόχτης Δ. 326 491 520
Μπριασούλης Δ. 268 316 331 359
Μπριασούλης Χ. 331
Μπρόζου Ε. 83
Μπρουζούκης Ε. 209
Μπρούνου Β. 413
Μυστριώτης Α. 268
Νάκας Χ. 92 176 520
Νάνος Γ, 353 476 526
Νάστης Σ. 461
Νεκτάριος Π 151
Νεοφύτου Χ. 466
Νικήτα-Μαρτζοπούλου Χ. 386 407
Ντίνας Γ. 377
Ντιούδης Π. 130 235
Ντόβας Αθ. 61
Ντογκούλης Π. 520
Ντούλας Ν 151
Ξανθόπουλος Γ. 252 257 263 273 283 298 481
Ξυραδάκης Π. 2 12 171 310 515 536
Ορφανού Α. 491
Παμπουκίδου Π. 71
Παναγάκης Π. 316 382 451
Παναγιωτίδη Ε. 557
Πανίδης Θ. 402
Πανταζή Α. 187
Πανταζή Ξ.Ε. 536 552
Πανώρας Α. 203
Πανώρας Ι. 203
Παπαδάκης Γ. 316 496 542
Παπαδόπουλος Αρ. 66 235
Παπαδόπουλος Σ. 310
Παπαδόπουλος Φρ. 66
Παπαθεοχάρη Γ. 187
Παπαϊωάννου Χ. 42 130 456
Παπαμιχαήλ Δ. 103
Παπαναστασίου Δ. 246 382 451
Παπανικολάου Χ. 176
Παπάρας Δ. 103
Παπαχατζής Α. 456
Παρασκευάς Χ. 224
Παροτσίδου Μ. 407

Παστόπουλος Σ. 26
Πατέρας Δ. 42
Παυλάτου-Βε Α. 32
Παύλου Δ. 491
Πετρίδου Ν. 32
Πετσαλάκη Α. 278
Πουρναρά Ε. 165
Προδρόμου Κ. 77
Προύτσος Ν. 110
Πυρομάλης Δ. 486
Ρεκούμη Κ. 289
Ρηγάκης Ν. 435
Ροδιάς Ε. 326
Ροπόκης Α. 425
Σάββας Δ. 425 430
Σάββας Μ. 252 257
Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη Μ. 92 176 209 219 235 241
Σαμούρης Ε. 22
Σέμπου Αλ. 283
Σεραφείμ Δ. 214
Σιούρας Α. 130
Σουλιώτης Μ. 506
Σπυρούδη Αγγ. 321
Σταματάκος Δ. 110
Σταφυλά Δ. 22
Ταγαράκης Αρ. 526 547
Τελόγλου Η. 203
Τζιμόπουλος Χ. 146 165 176 182
Τούλιος Λ. 371
Τρυπαναγνωστόπουλος Ι. 397 413 506
Τσανικλίδου Μ. 198
Τσελές Δ. 486
Τσιούρης Σ. 32
Τσιρογιάννης Ι. 246 365
Τσιρόπουλος Ζ. 12 171 310 515 526
Τσίρος Ι. 110
Τσουβαλτζής Π. 552
Τσουκαλάς Ν. 304
Φιλίντας Αγ. 130 235
Φουντάς Σ. 7 17 22 26 510 515 520 526 547 562
Φράγκος Β. 377 386 407
Φυντανής Α. 26
Χαλκίδης Η. 209
Χαριτίδου Ε. 192
Χαρτζουλάκης Κ. 419
Χατζηγιαννάκης Ε. 203
Χατζηϊωάννου Μ. 466
Χατζηνίκος Α. 510 547

Χατζής Ε. Γ. 481
Χισκάκης Μ. 331 359
Χούμος Χ. 52
Χρηστίδου Β. 365
Ψαρράς Γ. 419
Ψωμά Π. 66
Berckmans D. 531
Castrignano A. 476
Danson F. M. 371
Edwards G. 491
Kloppmann W. 419
Mohamed E. 542
Stancalie G. 371
Struzik P. 371
Tchamitchian M. 471
Zhang G. 382