Ε.Γ.Μ.Ε.

Εταιρία ΓεωργικώνΜηχανικών Ελλάδος

ΠΡΑΚΤΙΚΑ

5ου ΕΘΝΙΚΟΥ ΣΥΝΕΔΡΙΟΥ ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ

Συνεδριακό κέντρο ΤΕΙ Λάρισας
18-20 Οκτωβρίου 2007

ΠΡΑΚΤΙΚΑ
5ου ΕΘΝΙΚΟΥ ΣΥΝΕΔΡΙΟΥ ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ
ΕΤΑΙΡΕΙΑ ΓΕΩΡΓΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΕΛΛΑΔΟΣ (ΕΓΜΕ)
Βόλος, 10 Οκτωβρίου 2007.
Επιμέλεια πρακτικών: Νικόλαος Κατσούλας,
Γ. Γραμματέας ΕΓΜΕ
Λέκτορας Πανεπιστημίου Θεσσαλίας
τηλ. 2421093249, e-mail: nkatsoul@uth.gr

Επιμέλεια εξώφυλλου πρακτικών και αφίσας συνεδρίου:
Δρ. Χρήστος Καβαλάρης,
ΙΔΑΧ Πανεπιστημίου Θεσσαλίας

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

ΠΡΑΚΤΙΚΑ
5ου ΕΘΝΙΚΟΥ ΣΥΝΕΔΡΙΟΥ ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ

«Η συμβολή των Γεωργικών Μηχανικών σε μια ανταγωνιστική γεωργία»

Λάρισα, 18-20 Οκτωβρίου 2007

Υπό την Αιγίδα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας
Συνδιοργάνωση: ΤΕΙ Λάρισας

5ο Εθνικό Συνέδριο Γεωργικής Μηχανικής

Οργανωτική Επιτροπή

Πρόεδρος:
Γέμτος Θ. Α., Καθηγητής Π.Θ.

Αντωνόπουλος Β., Καθηγητής Α.Π.Θ.
Σακελλαρίου Μακραντωνάκη Μ., Καθηγήτρια Π.Θ.
Κίττας Κ., Καθηγητής Π.Θ
Κατσούλας Ν., Λέκτορας Π.Θ
Φουντάς Σ., Δρ. Π.Θ.
Καβαλάρης Χ., Δρ. Π.Θ.
Καραμούτης Χ., Δρ. Π.Θ.
Λέλλης Θ., Αν. Καθηγητής, ΤΕΙ Λάρισας
Ντιούδης Π., Αν. Καθηγητής, ΤΕΙ Λάρισας
Πατέρας Δ., Αν. Καθηγητής, ΤΕΙ Λάρισας
Γράβαλος Ι., Επ. Καθηγητής, ΤΕΙ Λάρισας
Γιαλαμάς Θ., Καθ. Εφαρμογών, ΤΕΙ Λάρισας
Τούλιος Λ., Ερευνητής, ΙΧΤΕΛ ΕΘΙΑΓΕ
Καλφούντζος Δ., Ερευνητής, ΙΧΤΕΛ ΕΘΙΑΓΕ

Επιστημονική Επιτροπή

Πρόεδρος:
Αντωνόπουλος Β., Καθηγητής Α.Π.Θ.

Αναστασιάδου-Παρθενίου Ε., Καθηγήτρια Α.Π.Θ.
Αρβανίτης Κ. Επ. Καθηγητής Γ.Π.Α.
Ασημακόπουλος Ι., Καθηγητής Γ.Π.Α.
Βαλιάντζας Ι., Καθηγητής Γ.Π.Α.
Βάλμης Σ., Καθηγητής Γ.Π.Α.
Βουγιούκας Στ., Επικ. Καθηγητής ΑΠΘ
Γέμτος Θ., Καθηγητής Π.Θ.
Γεωργακάκης Δ., Καθηγητής Γ.Π.Α.
Γιαννόπουλος Στ., Καθηγητής Α.Π.Θ.
Δημήρκου Ανθ., Αν. Καθηγήτρια Π.Θ.
Ζήσης Θ., Καθηγητής Α.Π.Θ.
Καλφούτζος Δ., ΙΧΤΕΛ ΕΘΙΑΓΕ
Καραντούνιας Γ., Καθηγητής Γ.Π.Α.
Κατσούλας Ν., Λέκτορας Π.Θ.
Κερκίδης Π., Καθηγητής Α.Π.Θ.
Κίττας Κ., Καθηγητής Π.Θ.
Κυρίτσης Σ., Ομ. Καθηγητής Γ.Π.Α.
Λιακατάς Α., Καθηγητής Γ.Π.Α.
Μαρτζόπουλος Γ., Καθηγητής Α.Π.Θ.
Μισοπολινός Ν., Καθηγητής Α.Π.Θ.

Μπαμπατζιμόπουλος Χ., Καθηγητής Α.Π.Θ.
Μπαρτζάνας Θ., Δρ. Π.Θ.
Μπριασούλης Δ., Καθηγητής Γ.Π.Α.
Νικήτα-Μαρτζοπούλου Χ., Καθηγήτρια Α.Π.Θ.
Παναγάκης Π., Επ. Καθηγητής Γ.Π.Α.
Παναγιωτόπουλος Κ., Καθηγητής Α.Π.Θ.
Πανώρας Α., Ερευνητής Ι.Ε.Β. ΕΘΙΑΓΕ
Παπαδάκης Γ., Αν. Καθηγητής Γ.Π.Α.
Παπαμιχαήλ Δ., Καθηγητής Α.Π.Θ.
Παρισόπουλος Γ., Δ/ντης Ι.ΓΕ.Μ.Κ., ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε.
Πατέρας Δ., Αν. Καθηγητής ΤΕΙ Λάρισας
Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη Μ., Καθηγήτρια Π.Θ.
Συγριμής Ν., Καθηγητής Γ.Π.Α.
Συλλαίος Ν., Καθηγητής Α.Π.Θ.
Τζιμόπουλος Χ., Καθηγητής Α.Π.Θ.
Τούλιος Λ., ΙΧΤΕΛ ΕΘΙΑΓΕ
Τσατσαρέλης Κ., Καθηγητής Α.Π.Θ.
Φουντάς Σ., Δρ. Π.Θ.
Χουλιαράς Ν., Καθηγητής ΤΕΙ Λάρισας

Κατάλογος αξιολογητών των εργασιών

Αλεξανδρίδης Θ.
Αλεξίου Ι.
Αντωνόπουλος Β.
Αργυροκαστρίτης Ι.
Βουγιούκας Στ.
Γέμτος Θ.
Γεωργίου Π.
Γιαννόπουλος Στ.
Δομενικιώτης Ι.
Ελμαλόγλου Σ.
Θεοχάρης Μ.
Καλφούντζος Δ.
Καραθάνος Β.
Καραμούζης Δ.
Καρυδάς Χ.
Κατσούλας Ν.
Κερκίδης Π.
Κιοσέ-Καμπασακάλη Ε.
Κίττας Κ.
Κόκκορας Ι.
Κωτσόπουλος Σπ.
Λουκάς Α.
Μαρτζοπούλου Χρ.
Ματσή Θεοδώρα
Μιμίδης Θ.
Μπαμπατζιμόπουλος Χ
Μπαρμπαγιάννης Ν.
Μπαρτζάνας Θ.
Μυγδάκος Ε.
Μυστριώτης Α.
Νάνος Γ.
Παναγόπουλος Α.
Πανώρας Α.
Παπαδάκης Γ.
Παπαμιχαήλ Δ.
Πατέρας Δ.
Παυλάτου-Βε Α.
Προδρόμου Κ.
Σακελλαρίου - Μακραντωνάκη Μ.
Σταυρινός Ε.
Συλλαιός Ν.
Τούλιος Λ.
Τσατσαρέλης Κ.
Τσιούρης Σ
Φουντάς Σπ.
Χαλκίδης Η.
Ψιλοβίκος Α.

5ο Εθνικό Συνέδριο Γεωργικής Μηχανικής

Χορηγοί του συνεδρίου

- Υπουργείο Εθνικής Παιδείας και Θρησκευμάτων
- Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
- ΠΛΑΣΤΙΚΑ ΚΡΗΤΗΣ Α.Ε.
- Κ/Ξ ΒΕΡΜΙΟΝ ΑΤΕΕ – ΧΑΥΔΑΣ - ΩΡΟΛΟΓΟΠΟΥΛΟΣ ΑΤΕ, Ρουπακιάς Ι.
- SCIENTACT Α.Ε.
- ΚΑΜΕΛΙΔΗΣ Α.Τ.Ε.
- ΚΑΡΑΤΖΟΥΝΗΣ ΑΤΕΒΕ
- ΑΓΡΕΚ Κ. ΣΑΜΑΝΤΟΥΡΟΣ Α.Ε.
- AGROMA, Σ. Πέτκος & ΣΙΑ Ο.Ε.
- Κέντρο Έρευνας Τεχνολογίας και Ανάπτυξης Θεσσαλίας (Κ.Ε.ΤΕ.Α.Θ.)
- TERRA Α.Ε.
- Ι. Εσκιάδης και ΣΙΑ Α.Ε.Β.Ε.
- Ένωση Κατασκευαστών Γεωργικών Μηχανημάτων Ελλάδος (Ε.ΚΑ.ΓΕ.Μ.)
- Δαλακούρας Γ., Πολιτικός Μηχανικός
- Κούτη Ευτυχία – Κηποτεχνικά.

Πρόλογος

Το 5ο Εθνικό Συνέδριο της Εταιρείας Γεωργικών Μηχανικών Ελλάδας (ΕΓΜΕ) οργανώνεται στο ΤΕΙ Λάρισας με συνδιοργανωτές το Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας και το ΤΕΙ Λάρισας. Πολλές συζητήσεις έγιναν για την αναγκαιότητα του συνεδρίου καθώς στους επόμενους οκτώ μήνες θα διεξαχθεί το Ευρωπαϊκό συνέδριο της Ευρωπαϊκής Εταιρείας Γεωργικών Μηχανικών (Ιούνιος 2008 στην Κρήτη), την οργάνωση του οποίου έχει αναλάβει η ΕΓΜΕ. Επικράτησε όμως η άποψη ότι το Εθνικό συνέδριο έχει διαφορετικούς και αυτοτελείς σκοπούς, όπως τη γνωριμία των νέων Ελλήνων ερευνητών που θα τους δοθεί ένα φιλικό βήμα να παρουσιάσουν τις εργασίες, τη γνωριμία των ερευνητικών ομάδων και του έργου τους, στοιχεία ιδιαίτερα σημαντικά για των επίτευξη των στόχων της Εταιρείας.

Το φετινό συνέδριο πραγματοποιείται μετά από μια ιδιαίτερα ξηρή χρονιά και ένα ιδιαίτερα θερμό καλοκαίρι που προκάλεσε σημαντικές ζημιές στις γεωργικές καλλιέργειες αλλά και στα δασικά οικοσυστήματα πολλών περιοχών της χώρας. Οι κλιματικές αλλαγές κάνουν έντονη την παρουσία τους και στη χώρα μας. Η εταιρεία μας έχει να παίξει σημαντικό ρόλο στην προσπάθεια της άμβλυνσης των αρνητικών τους επιπτώσεων. Η διαχείριση των υδάτινων 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. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας συμβάλλουν στη μείωση της κατανάλωσης ορυκτών καυσίμων, που τόσο ρυπαίνουν την ατμόσφαιρα και αυξάνουν το φαινόμενο του θερμοκηπίου. 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. Θεωρούμε ότι το 5ο Συνέδριο θα συμβάλλει ουσιαστικά στην προώθηση κατάλληλων λύσεων στα παραπάνω θέματα.

Στο συνέδριο υπεβλήθησαν 137 περιλήψεις και τελικά έγιναν δεκτές 110 πλήρεις εργασίες που θα παρουσιαστούν προφορικά στις τρεις παράλληλες συνεδριάσεις του συνεδρίου. Πιστεύω ότι το συνέδριο θα ακολουθήσει την επιτυχία των προηγούμενων.

Με την ευκαιρία αυτή θέλω να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στους αξιολογητές των εργασιών που υπεβλήθησαν και στους συντελεστές της οργάνωσης αυτού του συνεδρίου. Ο Λέκτορας του Π.Θ. κ. Ν. Κατσούλας και ο Δρ. κ. Σπ. Φουντάς διακαίονται τις περισσότερες, καθώς χάρη στην εργασία τους έγινε δυνατή η καλή οργάνωση του συνεδρίου. Ο Αν. Καθηγητής κ. Θ. Λέλλης και η ομάδα του ΤΕΙ Λάρισας είχαν σημαντική συμβολή. Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω τους χορηγούς του συνεδρίου.

Ν. Ιωνία, 10 Οκτωβρίου 2007
Ο πρόεδρος της Οργανωτικής Επιτροπής

Καθηγητής Θ.Α. Γέμτος

Περιεχόμενα

ΕΝΟΤΗΤΑ 1: ΓΕΩΡΓΙΚΑ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΑ – ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΙ 19

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΡΙΕΤΟΥΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ ΒΙΟΛΟΓΙΚΟΥ ΚΑΙ ΣΥΜΒΑΤΙΚΟΥ ΒΑΜΒΑΚΙΟΥ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ: ΝΕΟΤΕΡΑ ΟΙΚΟΝΟΜΟΤΕΧΝΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....21
Μυγδάκος Ε., Πατσιαλή Σ., Αυγουλάς Χ., Μυγδάκος Γ.
ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΑΠΟΔΟΣΗ ΚΑΙ ΤΟ ΚΟΣΤΟΣ ΣΥΓΚΟΜΙΔΗΣ ΜΙΑΣ ΒΑΜΒΑΚΟΣΥΛΛΕΚΤΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΗΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ.....31
Ε. Γρ. Μυγδάκος
ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΜΕΤΡΗΤΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΣΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ.....44
Ι. Γράβαλος, Θ. Γιαλαμάς, Ζ. Κουτσοφίτης, Α. Αυγουστής, Δ. Κατέρης, Π. Ξυραδάκης, Ζ. Τσιρόπουλος.....44
ΕΦΑΡΜΟΓΈΣ ΤΩΝ ΓΕΩΡΓΙΚΏΝ ΕΛΚΥΣΤΉΡΩΝ ΣΕ ΔΑΣΙΚΈΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ.....52
Ε. Λάμπου, Κ. Ζάννης και Ε. Καραγιάννης
ΣΥΓΧΡΟΝΑ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΑ ΙΣΟΠΕΔΩΣΗΣ ΣΕ ΑΓΡΟΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ.....58
Κ. Ζάννης, Δ. Μπόχτης, Ε. Λάμπου και Αθ. Καραγιάννης
ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΑΝΑΠΤΥΣΣΟΜΕΝΗΣ ΕΛΞΗΣ ΚΑΙ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ ΜΕ ΟΜΟΙΩΜΑ ΤΡΟΧΟΦΟΡΟΥ ΕΛΚΥΣΤΗΡΑ.....65
Θ.Α. Γιαλαμας, Ι. Γραβαλος, Α. Ανδρέου, Σ. Τσάντζος, Δ. Κατέρης, Κ.Α. Τσατσαρέλης, Θ. Α. Γέμτος
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΥΔΡΑΥΛΙΚΟΥ ΑΝΕΛΚΥΣΤΗΡΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΑΓΡΟΤΙΚΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ.....73
Θ. Α. Γιαλαμάς, Ε. Παπαχρήστου, Ι. Γραβαλος, Δ. Κατέρης, Χ. Δημητριάδης, Κ.Α. Τσατσαρέλης
ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΔΟΝΗΣΕΩΝ ΣΤΟ ΘΑΛΑΜΟ ΧΕΙΡΙΣΜΟΥ ΤΩΝ ΓΕΩΡΓΙΚΩΝ ΕΛΚΥΣΤΗΡΩΝ.....80
Θ.Α. Γιαλαμάς, Ι. Γράβαλος, Δ. Κατέρης, Π. Ξυραδάκης, Κ.Α.Τσατσαρέλης, Θ.Α. Γέμτος
ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΓΩΝΙΩΝ ΕΥΣΤΑΘΙΑΣ ΓΙΑ ΕΓΚΑΡΣΙΑ ΚΙΝΗΣΗ ΣΕ ΚΕΚΛΙΜΕΝΟ ΕΠΙΠΕΔΟ.....87
Θ.Α. Γιαλαμας, Δ. Κατέρης, Ι. Γράβαλος, Π. Ξυραδάκης, Κ.Α. Τσατσαρέλης
ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ, ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΚΑΙ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΟΣ ΣΥΓΚΟΜΙΔΗΣ ΤΟΥ ΑΝΘΟΥΣ ΤΗΣ ΛΕΒΑΝΤΑΣ.....95
Χ. Ι. Δημητριάδης, J. L. Brighton, Ι. Κόκκορας, Ι. Γράβαλος, Θ.Α. Γιαλαμάς
ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΩΝ ΚΟΠΗΣ ΠΕΡΙΠΟΙΗΣΗΣ ΚΑΙ ΔΕΜΑΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΧΟΡΤΟΥ.....103
Χ.Κ. Κοτσακιώτη, Δ.Δ. Μπόχτης, Ι.Α. Σπανομήτρος, Ι.Γ. Αμπατζίδης και Κ.Α. Τσατσαρέλης
ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΩΝ ΚΥΡΙΑΣ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ..111
Α.Γ. Ντιρογιάννης, Ι.Γ. Αμπατζίδης, Δ.Δ. Μπόχτης, Ι.Α. Σπανομήτρος και Κ.Α. Τσατσαρέλης
ΘΟΡΥΒΟΣ ΚΑΙ ΚΡΑΔΑΣΜΟΙ ΚΑΤΑ ΤΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΓΕΩΡΓΙΚΩΝ ΕΛΚΥΣΤΗΡΩΝ ΣΤΟ ΧΩΡΑΦΙ.....119
Θ.Α. Γέμτος, Σπ. Φουντάς, Χρ. Παπανικολάου, Ν. Νάνμος, Β. Βλάχος
ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ ΤΗΣ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ ΣΤΟ ΕΔΑΦΟΣ, ΤΑ ΦΥΤΑ ΚΑΙ ΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ.....127
Καβαλάρης Χρ., Καραμούτης Χρ., Κ. Αγγελοπούλου, Θ.Α. Γέμτος
ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΚΑΙ ΔΟΚΙΜΗ ΕΝΟΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΑ ΙΣΧΥΟΔΟΤΟΥΜΕΝΟΥ ΔΙΕΙΣΔΥΣΙΟΜΕΤΡΟΥ.....135

Χ. Καραμούτης, Χ. Καβαλάρης, Δ. Παράφορος, Ο. Παπαδοπούλου, Κ. Κολιπέτσας και Θ.Α. Γέμτος
ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΝΟΣ ΝΕΟΥ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΚΑΤΑΠΟΛΕΜΗΣΗ ΤΩΝ ΖΙΖΑΝΙΩΝ ΣΤΗ ΓΡΑΜΜΗ ΣΠΟΡΑΣ 143
Α. Π. Δεδούσης, R. J. Godwin
Η ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑ ΤΩΝ ΓΕΩΡΓΙΚΩΝ ΕΛΚΥΣΤΗΡΩΝ ΚΑΙ Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΣΤΗΝ ΑΠΟΔΟΣΗ ΤΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ 152
Α. Νάτσης, Θ. Γέμτος, Ε. Μυγδάκος, Η. Νάτσης

ΕΝΌΤΗΤΑ 2: ΥΔΑΤΙΚΟΊ ΠΌΡΟΙ 163

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ THETA PROBE ML2 ΣΕ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΑΝΟΜΟΙΟΜΟΡΦΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ. 165
Γ. Κάργας, Α. Σγουμποπούλου, Β. Φασούλη και Π. Κερκίδης
ΥΠΟΓΕΙΑ ΑΡΔΕΥΣΗ ΣΕ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΒΑΜΒΑΚΙΟΥ ΜΕ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΕΣ ΔΟΣΕΙΣ ΑΡΔΕΥΣΗΣ 173
Μ. Σακελλαρίου – Μακραντωνάκη, Χ. Παπανικολάου και Σ. Πατελοδήμου
ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΥΠΟΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗΣ ΣΤΑΓΔΗΝ ΑΡΔΕΥΣΗΣ ΣΕ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΖΑΧΑΡΟΤΕΥΤΛΩΝ 181
Μ. Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη, Κ. Α. Δημοπούλου, Θ. Βούλγαρης
ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΚΟΠΤΟΜΕΝΗΣ ΣΤΑΓΔΗΝ ΑΡΔΕΥΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΡΟΩΘΗΣΗ ΤΟΥ ΜΕΤΩΠΟΥ ΔΙΑΒΡΟΧΗΣ ΚΑΙ ΣΤΙΣ ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΝΕΡΟΥ ΛΟΓΩ ΒΑΘΙΑΣ ΔΙΗΘΗΣΗΣ 189
Ε. Διαμαντόπουλος, Σ. Ελμαλόγλου
ΑΠΛΕΣ ΚΑΙ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΤΙΚΕΣ ΛΥΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΔΙΗΘΗΣΗ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΣΕ ΑΚΟΡΕΣΤΟ ΕΔΑΦΟΣ 196
Α. Λουκάς
ΒΕΛΤΙΣΤΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΑΡΔΕΥΤΙΚΟΥ ΝΕΡΟΥ ΜΕ ΤΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΣΧΕΣΕΩΝ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ – ΔΙΑΘΕΣΙΜΟΤΗΤΑΣ ΝΕΡΟΥ 205
Π.Ε. Γεωργίου και Δ.Μ. Παπαμιχαήλ
ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΔΙΑΚΟΠΤΟΜΕΝΗΣ ΠΑΡΟΧΗΣ ΝΕΡΟΥ ΣΕ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΤΑΓΔΗΝ ΑΡΔΕΥΣΗΣ 213
Π. Βύρλας και Μ. Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη
ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΗΣ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΝΕΡΟΥ ΚΑΙ ΑΖΩΤΟΥ ΣΤΟ ΕΔΑΦΟΣ ΑΓΡΟΥ ΚΑΛΛΙΕΡΓΟΥΜΕΝΟΥ ΜΕ ΚΑΛΑΜΠΟΚΙ ΕΝΣΙΡΩΣΗΣ 221
Β. Αντωνόπουλος, Ε. Λεκάκης και Α. Παυλάτου-Βε
ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΟΥ ΙΣΟΖΥΓΙΟΥ ΝΕΡΟΥ ΚΑΙ ΑΖΩΤΟΥ ΣΕ ΟΡΥΖΩΝΑ ΜΕ ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ GLEAMS 229
Β.Ζ. Αντωνόπουλος, Β.Γ. Ασχονίτης, Μ.Η. Rahil, Ε.Η. Λεκάκης
ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΑΡΔΕΥΟΜΕΝΗΣ ΓΕΩΡΓΙΑΣ ΣΤΗΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΤΩΝ ΣΤΡΑΓΓΙΣΤΙΚΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ 237
Β. Αντωνόπουλος, Β. Λίτσκας, Β. Ασχονίτης και Σ. Τσιούρης
ΜΟΝΙΜΗ ΟΜΟΙΟΜΟΡΦΗ ΡΟΗ ΣΕ ΑΝΟΙΚΤΟΥΣ ΑΓΩΓΟΥΣ ΤΡΑΠΕΖΟΕΙΔΟΥΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ 245
Μ. Θεοχάρης
ΜΟΝΙΜΗ ΟΜΟΙΟΜΟΡΦΗ ΡΟΗ ΣΕ ΑΝΟΙΚΤΟΥΣ ΑΓΩΓΟΥΣ ΚΥΚΛΙΚΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΒΟΛΙΚΗΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ 253
Μ. Θεοχάρης
ΤΕΧΝΗΤΗ ΕΠΑΝΑΠΛΗΡΩΣΗ ΦΡΕΑΤΙΚΩΝ ΥΔΡΟΦΟΡΕΩΝ ΜΕ ΦΡΕΑΤΙΑ ΣΤΑΘΕΡΗΣ ΠΑΡΟΧΗΣ 262
Δ.Ν. Καραμούζης και Π.Ε. Γεωργίου

ΣΧΕΔΙΟ ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΗΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΥΔΡΟΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ Ν. ΚΑΛΥΜΝΟΥ 270
Δ. Κ. Καρπούζος
Η ΚΟΣΤΟΛΟΓΗΣΗ ΤΟΥ ΑΡΔΕΥΤΙΚΟΥ ΝΕΡΟΥ ΩΣ ΜΕΤΡΟ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΗΣ ΟΔΗΓΙΑΣ 2000/60/ΕΕ ΚΑΙ ΤΗΣ ΚΟΙΝΗΣ ΑΓΡΟΤΙΚΗΣ ΠΟΛΙΤΙΚΗΣ.....280
Ε. Σταυρινός
ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΑΡΔΕΥΣΗΣ, ΣΤΡΕΣ ΦΥΤΩΝ ΚΑΙ ΔΙΑΘΕΣΙΜΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΜΕΝΗΣ ΜΕ GIS ΣΤΗΝ ΑΠΟΔΟΣΗ ΑΡΑΒΟΣΙΤΟΥ.....288
Αγ. Φιλίντας, Π. Ντιούδης, Θ. Λέλλης, Αρ. Παπαδόπουλος και Ι. Χατζόπουλος
ΝΕΟΙ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΤΩΝ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ ΤΗΣ ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗΣ 296
Β. Άμπας, Ε. Μπαλτάς και Δ. Παπαμιχαήλ
ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΥΠΟΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗΣ ΚΑΙ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗΣ ΣΤΑΓΔΗΝ ΑΡΔΕΥΣΗΣ ΣΕ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΚΑΛΑΜΠΟΚΙΟΥ 304
Δ. Καλφούντζος, Ι. Αλεξίου, Σ. Κωτσόπουλος
ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΣΤΟΝ ΧΕΙΜΑΡΡΟ ΛΥΚΟΡΡΕΜΑ ΤΟΥ ΟΡΟΥΣ ΠΕΝΤΕΛΗ.....312
Κ. Σούλης, Ν. Δέρκας, Ι. Δ. Βαλιάντζας
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΩΝ ΤΟΥ Τ.Ο.Ε.Β. ΠΗΝΕΙΟΥ ΣΤΗΝ ΚΑΛΥΨΗ ΑΡΔΕΥΤΙΚΩΝ ΑΝΑΓΚΩΝ 320
Σ. Κωτσόπουλος, Ι. Αλεξίου, Φ. Λόκκας, Γ. Γραβάνης και Σ. Μαγαλιός
ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ ΤΗΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΤΟΥ ΑΡΔΕΥΤΙΚΟΥ ΝΕΡΟΥ ΣΤΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΤΗΣ ΟΔΗΓΙΑΣ 2000/60 328
Ν. Δέρκας, Π. Λόντρα και Α. Καραμάνος
ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ ΣΤΗΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΛΑΜΠΟΚΙΟΥ ΜΕ ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ WAVE.....337
Ι. Αλεξίου, Δ. Παπαμιχαήλ και Β. Αντωνόπουλος
PLEIADES –ΒΟΗΘΗΤΙΚΑ ΕΡΓΑΛΕΙΑ ΓΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΝΕΡΟΥ ΣΤΗ ΓΕΩΡΓΙΑ ΚΑΙ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ ΑΓΡΟΤΙΚΗΣ ΑΠΟΦΑΣΗΣ 345
Α. Μπλάντα, Χ. Δομενικιώτης και Ν. Δαλέζιος
ΑΔΡΟΜΕΡΗΣ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΤΗΣ ΞΗΡΑΣΙΑΣ ΣΤΗ ΓΕΩΡΓΙΑ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΔΕΙΚΤΗ ΞΗΡΑΣΙΑΣ RDI.....353
Γ. Τσακίρης, Δ. Τίγκας

ΕΝΌΤΗΤΑ 3: ΑΓΡΟΤΙΚΈΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΈΣ 362

ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΜΗΣΗΣ ΦΩΤΟΔΙΑΣΠΩΜΕΝΩΝ ΦΥΛΛΩΝ ΕΔΑΦΟΚΑΛΥΨΗΣ...364
Ι. Κυρίκου, Δ. Μπριασούλης και Μ. Χισκάκης
ΕΛΕΓΧΟΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΣΕ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑ ΜΕ ΗΛΙΑΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΥΝΔΥΑΣΜΕΝΟ ΜΕ ΥΔΡΟΡΡΟΗ ΥΔΡΟΠΟΝΙΑΣ ..372
Γ. Ντίνας, Π. Κούγιας, Χ. Νικήτα- Μαρτζοπούλου
ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΣΤΟΝ ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΟ ΤΩΝ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΩΝ ΜΕ CO_2 ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΑΝΟΙΞΙΑΤΙΚΗ ΚΑΛΛΙΕΡΓΗΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟ.....380
Δ. Βαφειάδης, Μ. Μπότας, Χ. Παπαμάνθος και Χ. Νικήτα- Μαρτζοπούλου
Η ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΑΝΤΛΙΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΣΤΗ ΜΕΙΩΣΗ ΤΗΣ ΣΧΕΤΙΚΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΣΤΟ ΧΩΡΟ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ 387
Ι. Λυκοσκούφης, Γ. Μαυρογιαννόπουλος
ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΗΣ ΡΟΗΣ ΑΝΕΜΟΥ ΓΥΡΩ ΑΠΟ ΥΠΕΡΥΨΩΜΕΝΟ ΠΕΡΑΤΟ ΠΕΤΑΣΜΑ.....395
Α. Γιαννούλης, Α. Μυστριώτης και Δ. Μπριασούλης

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΑΝΑΓΚΩΝ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑΚΗΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ ΠΙΠΕΡΙΑΣ 403
Ι. Λ. Τσιρογιάννης, Ν. Κατσούλας, Κ. Κίττας και Δ. Σάββας
ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΕΙΚΟΝΑΣ ΣΕ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑ ΓΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΟΥ ΚΑΛΛΙΕΡΓΗΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ....411
Βέντζας Δ., Παναγιωτίδη Αικ.
ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΣΤΟ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΜΕΝΟΥ ΤΟΞΩΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ....421
Κ. Μπαξεβάνου, Θ. Μπαρτζάνας, Δ. Φείδαρος, Κ. Κίττας
ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΗΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΚΛΕΙΣΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ....429
Ν. Tadj, Θ. Μπαρτζάνας, Β .Draoui και Κ. Κίττας
ΟΡΘΟΛΟΓΙΚΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΣΕ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟ ΜΕ ΣΥΝΔΥΑΣΜΕΝΗ ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΚΑΙ ΑΕΡΙΣΜΟΥ....437
Θ. Μπαρτζάνας και Κ. Κίττας
ΕΠΙΒΕΒΑΙΩΣΗ ΒΙΟΛΟΓΙΚΟΥ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑΤΟΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ ΤΟΜΑΤΑΣ ΣΕ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟ ΚΑΤΆ ΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΟΥ ΧΕΙΜΩΝΑ 445
Κ. Κίττας, Γ. Δημόκας και M. Tchamitchian
ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΚΑΙ ΕΠΙΒΕΒΑΙΩΣΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑΤΟΣ ΜΙΚΡΟΚΛΙΜΑΤΟΣ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ ΚΑΤΆ ΤΗ ΧΕΙΜΕΡΙΝΗ ΠΕΡΙΟΔΟ....453
Γ. Δημόκας, Κ. Κίττας, Ν. Κατσούλας και Ν. Δημόκας
ΜΕΛΕΤΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑΤΟΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ ΤΟΜΑΤΑΣ ΓΙΑ ΟΡΘΟΛΟΓΙΚΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΟΥ ΚΛΙΜΑΤΟΣ ΣΕ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟ ΣΠΟΡΟΦΥΤΩΝ....462
Ν. Κατσούλας, Κ. Πεπονάκης, Δ. Πετσάνη, Κ. Κίττας
ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΑΝΤΙΣΤΑΓΟΝΙΚΩΝ ΦΥΛΛΩΝ ΚΑΛΥΨΗΣ ΣΤΟ ΜΙΚΡΟΚΛΙΜΑ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ ΜΕ ΥΔΡΟΠΟΝΙΚΗ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΑΓΓΟΥΡΙΟΥ....469
Κ. Κίττας, Ν. Κατσούλας, Χ. Μανωλαράκη, Θ. Μπαρτζάνας

ΕΝΌΤΗΤΑ 4: ΕΔΑΦΙΚΟΊ ΠΌΡΟΙ....478

ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗ ΒΟΡΙΟΥ ΑΠΟ ΥΔΡΟΞΕΙΔΙΑ ΚΑΙ ΟΞΕΙΔΙΑ ΤΟΥ ΜΑΓΓΑΝΙΟΥ....480
Κ. Π. Προδρόμου και Χ. Λάκης
ΟΔΗΓΙΕΣ ΛΙΠΑΝΣΗΣ ΚΑΙ ΑΡΔΕΥΣΗΣ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΑΓΡΟΤΕΜΑΧΙΟ ΜΕΣΩ ΕΔΑΦΟΛΟΓΙΚΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΔΗΜΩΝ Ν. ΚΟΖΑΝΗΣ....487
Φ. Παπαδόπουλος, Α. Παπαδόπουλος και Π. Τζιαχρής
ΧΩΡΟ-ΧΡΟΝΙΚΗ ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΕΠΙΠΕΔΩΝ Cd ΚΑΙ Cr ΣΕ ΓΕΩΡΓΙΚΑ ΕΔΑΦΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΑΛΜΥΡΟΥ ΜΑΓΝΗΣΙΑΣ....495
Ε. Ε. Γκόλια , Α. Δημήρκου, Στ. Α. Φλωράς, Κ. Παπαδήμας, Γ. Σκαμαγκούλης και Ι. Κ. Μήτσιος†
ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΕΠΙΠΕΔΩΝ ΜΑΚΡΟ- ΚΑΙ ΜΙΚΡΟ-ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΣΕ ΕΔΑΦΗ ΚΑΙ ΝΕΡΑ ΑΡΔΕΥΣΗΣ ΤΟΥ ΑΛΜΥΡΟΥ, ΝΟΜΟΥ ΜΑΓΝΗΣΙΑΣ. 503
Α. Δημήρκου, Ε. Ε. Γκόλια , Στ. Α. Φλωράς, Χ. Ηλιόπουλος, Γ. Σκαμαγκούλης και Ι. Κ. Μήτσιος†
ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΕΝΣΩΜΑΤΟΥΜΕΝΗΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΜΑΖΑΣ ΡΙΓΑΝΗΣ ΚΑΙ ΒΑΣΙΛΙΚΟΥ ΣΤΙΣ ΧΗΜΙΚΕΣ ΚΑΙ ΒΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ ΣΕ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ ΒΑΜΒΑΚΙΟΥ ΚΑΙ ΑΡΑΒΟΣΙΤΟΥ....511
Ν. Χουλιαράς, Φ. Γραβάνης, Η. Αναστασόπουλος, Ι. Βασιλάκογλου, Ν. Γκουγκουλιάς, Ι. Βαγγέλας, Α. Τσιτσιγιάννης και Ε. Βογιατζή

Η ΕΠΟΧΙΚΗ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ ΤΟΥ ΒΙΟΔΙΑΘΕΣΙΜΟΥ ΦΩΣΦΟΡΟΥ (BioP), ΣΕ ΑΜΠΕΛΩΝΕΣ ΜΕ ΔΥΟ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ - ΟΡΓΑΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΣΥΜΒΑΤΙΚΗΣ 519
Σιήμης Α. και Παυλάτου –Βε Α.
Η ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ ΤΗΣ ΜΙΚΡΟΒΙΑΚΗΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑΣ ΣΕ ΕΝΑΝ ΟΡΥΖΩΝΑ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΗΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΗΤΙΚΗΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥ....527
Αλαμάνου Μ., Παυλάτου-Βε Α., Ασκονίτης Β., Λίτσκας Β. και Αντωνόπουλος Β.
Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΣΤΗ ΣΥΜΠΙΕΣΤΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΣΤΗΝ ΤΑΣΗ ΠΡΟΣΥΜΠΙΕΣΗΣ ΕΔΑΦΩΝ ALFISOL ΚΑΙ VERTISOL 535
Κ. Π. Παναγιωτόπουλος και Γ. Τσολάκη

ΕΝΌΤΗΤΑ 5: ΑΓΡΟΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΊΑ 542

ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΗΣ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ, ΜΕΣΩ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ 544
Α. Άνθης, Ι. Βαφειάδης
ΧΩΡΙΚΗ ΚΑΙ ΧΡΟΝΙΚΗ ΠΙΘΑΝΟΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΞΗΡΑΣΙΑΣ ΣΤΗ ΘΕΣΣΑΛΙΑ550
Χ. Ζαραγκότας, Α. Λουκάς, Λ. Βασιλειάδης και Π. Μήτσιου
ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ ΣΤΗ ΔΡΙΜΥΤΗΤΑ ΞΗΡΑΣΙΑΣ ΣΤΗ ΘΕΣΣΑΛΙΑ 558
Γ.Τζαμπύρας, Α.Λουκάς και Λ.Βασιλειάδης

ΕΝΌΤΗΤΑ 6: ΠΕΡΙΒΆΛΛΟΝ 566

ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΞΥΛΟΥ ΜΕ ΕΛΚΥΣΤΗΡΕΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΗ ΤΩΝ ΔΑΣΙΚΩΝ ΕΔΑΦΩΝ....568
Α. Καραγιάννης, Ε. Λάμπου και Π. Καραρίζος
ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΛΥΜΑΤΩΝ ΣΕ ΟΙΚΟΛΟΓΙΚΑ ΕΥΑΙΣΘΗΤΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ. Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΟΥ ΔΗΜΟΥ ΠΡΕΣΠΩΝ....575
Γ. Σαπουντζάκης, Μ. Γιαμούρη , Α. Παπαγιαννοπούλου, Φ. Παπαδόπουλος και Γ. Παρισόπουλος
ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΟΥ ΙΣΟΖΥΓΙΟΥ ΝΕΡΟΥ ΚΑΙ ΑΖΩΤΟΥ ΣΕ ΑΓΡΟ ΑΡΑΒΟΣΙΤΟΥ ΑΡΔΕΥΟΜΕΝΟ ΜΕ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΜΕΝΑ ΛΥΜΑΤΑ 583
Β. Ζ. Αντωνόπουλος και Μ. Η. Rahil
ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ΣΥΛΛΟΓΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΥΠΑΙΘΡΟΥ ΓΙΑ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ ΚΑΙ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ 592
Γ. Τζιαφάς, Χ. Τοπάλογλου, Ο. Χρίστου και Ν. Συλλαίος
ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΗΣ ΦΩΤΟΚΑΤΑΛΥΤΙΚΗΣ ΟΞΕΙΔΩΣΗΣ ΜΕ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΗΝ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΤΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΣΤΟΝ ΑΓΡΟΤΙΚΟ ΤΟΜΕΑ 600
Ι. Πούλιος, Ι. Τρυπαναγνωστόπουλος
ΕΠΙΘΕΩΡΗΣΗ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΦΥΤΟΦΑΡΜΑΚΩΝ - ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΑΠΟ ΤΗ ΘΕΜΑΤΙΚΗ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΗ ΤΗΣ Ε.Ε. 607
Α. Παπαγιαννοπούλου, Γ. Παρισόπουλος, Χ. Σακκάς
ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΔΙΑΦΡΑΓΜΑΤΩΝ ΟΠΗΣ ΣΕ ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΧΛΩΡΙΩΣΗΣ ΑΣΤΙΚΩΝ ΛΥΜΑΤΩΝ....615
Δ. Φείδαρος, Α. Μπαξεβάνου, Α. Ζαγορίτης, Π.-Ε. Μπίσκα

ΕΝΌΤΗΤΑ 7: ΜΕΤΑΣΥΛΛΕΚΤΙΚΉ / ΜΕΤΑΣΥΓΚΟΜΙΣΤΙΚΉ ΤΕΧΝΟΛΟΓΊΑ 626

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΣΧΕΣΕΙΣ ΚΑΙ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ ΤΩΝ ΑΠΩΛΕΙΩΝ ΜΑΖΑΣ ΨΥΧΡΟΣΥΝΤΗΡΟΥΜΕΝΩΝ ΜΗΛΩΝ *PILAFA DELICIOUS* ΚΑΙ *GRANNY SMITH*.....628
Θ. Θεοδωρίδης, Ε. Μανολωπούλου, Γρ. Λαμπρινός και Ε. Αραβαντινός–Καρλάτος
ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑΣ ΣΤΗΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑ «ΕΛΑΧΙΣΤΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΜΕΝΟΥ» ΜΑΡΟΥΛΙΟΥ 634
Ε. Μανωλοπούλου, Ν. Καπετάνιος, Ν. Χαλασοχώρη, Γρ. Λαμπρινός
ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑΣ ΣΤΑ ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ «ΕΛΑΧΙΣΤΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΜΕΝΗΣ ΠΙΠΕΡΙΑΣ».....642
Ε. Μανωλοπούλου, Θ. Σαμαράς, Ν. Χαλασοχώρη, Γρ. Λαμπρινός
Η ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΣΥΝΤΗΡΟΥΜΕΝΩΝ ΜΗΛΩΝ ΠΟΙΚΙΛΙΑΣ GRANNY SMITH ΩΣ ΚΡΙΤΗΡΙΟ ΠΟΙΟΤΙΚΗΣ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ.....651
Δ. Μητρόπουλος και Γ. Λαμπρινός
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΜΗΛΩΝ DELICIOUS PILAFA ΣΕ ΠΑΡΑΔΟΣΙΑΚΕΣ ΑΠΟΘΗΚΕΣ 658
Δ. Μητρόπουλος και Γ. Λαμπρινός
ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΤΗΣ ΑΠΩΛΕΙΑΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΚΑΤΑΨΥΞΗ ΑΣΥΣΚΕΥΑΣΤΩΝ ΟΠΩΡΟΛΑΧΑΝΙΚΩΝ 666
Γ. Ξανθόπουλος, Γρ. Λαμπρινός, Δ. Μητρόπουλος, Ε. Χατζής
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΜΗΛΩΝ ΜΕ ΤΗΝ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΚΑΙ ΤΟΝ ΧΡΟΝΟ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ.....675
Ν. Πεντάρης, Ε. Μανωλοπούλου, Γ. Ξανθόπουλος, Δ. Μητρόπουλος και Γρ. Λαμπρινός
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΧΡΩΜΑΤΟΣ ΣΥΝΤΗΡΟΥΜΕΝΗΣ ΒΙΟΛΟΓΙΚΗΣ ΤΟΜΑΤΑΣ ΜΕ ΑΝΑΛΥΣΗ ΨΗΦΙΑΚΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ 682
Ε. Χατζής, Σ. Ψυχογυιού, Γ. Ξανθόπουλος και Γρ. Λαμπρινός

ΕΝΌΤΗΤΑ 8: ΑΝΑΝΕΏΣΙΜΕΣ ΠΗΓΈΣ ΕΝΈΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΕΞΟΙΚΟΝΌΜΗΣΗ ΕΝΈΡΓΕΙΑΣ 690

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΉ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΑΠΕΥΘΕΙΑΣ ΣΥΝΔΕΣΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΦΑΛΆΤΩΣΗΣ ΑΝΤΊΣΤΡΟΦΗΣ ΩΣΜΩΣΗΣ ΜΕ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ 692
Εσσάμ Μωχάμεντ, Γ. Παπαδάκης, Ε. Μαθιουλάκης και Β. Μπελεσσιώτης
ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΑΠΟ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΒΙΟΝΤΙΖΕΛ ΩΣ ΚΑΥΣΙΜΟ ΣΕ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟ-ΚΙΝΗΤΗΡΑ ΓΕΩΡΓΙΚΟΥ ΕΛΚΥΣΤΗΡΑ.....699
Ι. Γράβαλος, Θ. Γιαλαμάς, Ζ. Κουτσοφίτης, Α. Αυγουστής,Γ. Λιανός, Δ. Κατέρης, Π. Ξυραδάκης, Ζ. Τσιρόπουλος, Θ. Λέλλης
ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ ΤΩΝ ΚΛΑΔΟΔΕΜΑΤΩΝ ΕΛΙΑΣ 707
Π. Ξένος–Κοκολέτσης, Ε. Χατζής και Γρ. Λαμπρινός
ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ ΣΤΗΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΔΥΟ ΠΟΙΚΙΛΙΩΝ ΗΛΙΑΝΘΟΥ ΣΤΗΝ ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΕΛΛΑΔΑ.....716
Τσιάνος Ν., Θ. Γέμτος, Χ. Καβαλάρης και Χ. Καραμούτης
ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΕΛΑΙΟΚΡΑΜΒΗΣ (*Brassica sp.*) ΓΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΒΙΟΝΤΗΖΕΛ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΛΑΡΙΣΑΣ 723
Ι. Ραμνιώτης , Θ. Κωτσόπουλος, Γ. Μαρτζόπουλος
ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΔΥΟ ΠΟΙΚΙΛΙΩΝ ΕΛΑΙΟΚΡΑΜΒΗΣ ΣΤΙΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΕΣ ΤΗΣ ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ.....731
Μ. Σακελλαρίου – Μακραντωνάκη, Ι. Παναγιώτου και Π. Βύρλας
ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ ΕΔΑΦΟΥΣ ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΣΠΟΡΟΥ, ΕΛΑΙΟΥ ΚΑΙ ΠΙΤΑΣ ΔΥΟ ΥΒΡΙΔΙΩΝ ΗΛΙΑΝΘΟΥ ΣΤΗΝ ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΕΛΛΑΔΑ 738
Π. Α. Καλαβριώτου και Θ. Α. Γέμτος

ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΕΛΑΙΟΥ ΗΛΙΑΝΘΟΥ ΜΕ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΜΕΙΩΜΕΝΗΣ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ 746
Χ. Καβαλάρης, Χ. Καραμούτης, Π. Καλαβρυώτου και Θ.Α. Γέμτος
ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΜΙΓΜΑΤΩΝ ΗΛΙΕΛΑΙΟΥ ΜΕ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟ ΣΕ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕ ΤΟ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟ ΩΣ ΚΑΥΣΙΜΩΝ ΣΕ ΚΙΝΗΤΗΡΑ ΑΝΑΦΛΕΞΗΣ ΣΥΜΠΙΕΣΗΣ 754
Α. Μπαλαφούτης, Δ. Μελάς, Α. Νάτσης, Α. Παπαγιαννοπούλου και Γ. Παπαδάκης
ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ ΑΠΟ ΛΥΜΑΤΑ ΧΟΙΡΩΝ ΣΕ ΔΥΟ ΣΕ ΣΕΙΡΑ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΕΣ CSTR ΣΤΗ ΜΕΣΟΦΙΛΗ ΚΑΙ ΥΠΕΡΘΕΡΜΟΦΙΛΗ ΖΩΝΗ....762
Ι. Φωτίδης, Ν. Τσολάκης, Θ. Κωτσόπουλος και Γ. Γ. Μαρτζόπουλος

ΕΝΌΤΗΤΑ 9: ΝΈΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΊΕΣ ΣΤΗ ΓΕΩΡΓΙΚΉ ΜΗΧΑΝΙΚΉ.769

ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΚΡΟΦΥΣΙΩΝ ΕΚΝΕΦΩΣΗΣ ΖΙΖΑΝΙΟΚΤΟΝΩΝ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗΣ ΜΕ ΦΘΟΡΙΣΜΟ 771
Μ. Βλαχογιάννης, Β. Ιακωβάκης, Θ. Τσιρίκογλου και Δ. Χάχαλης
AMADA: ΜΙΑ ΠΟΛΥΧΡΗΣΤΙΚΗ ΒΑΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΓΙΑ ΓΕΩΡΓΙΚΑ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΑ ΑΓΡΩΝ....779
Ι. Γράβαλος, Ζ. Τσιρόπουλος, Θ. Γιαλαμάς, Ζ. Κουτσοφίτης, Π. Ξυραδάκης, Δ. Κατέρης, Ε. Ντάφας, Θ. Λέλλης
ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΌΣ ΤΩΝ ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΏΝ ΚΑΙ ΕΔΑΦΟΚΛΙΜΑΤΙΚΏΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΏΝ ΤΗΣ ΛΕΚΆΝΗΣ ΤΡΟΦΟΔΟΣΊΑΣ ΤΗΣ ΤΕΧΝΗΤΉΣ ΛΊΜΝΗΣ ΣΜΟΚΌΒΟΥ 787
Α. Αυγουστής, Μ. Σαπουντζής, Δ. Κατέρης, Ι. Γράβαλος, Π. Ξυραδάκης
ΙΧΝΗΛΑΣΙΜΟΤΗΤΑ ΕΝΤΟΣ ΑΓΡΟΥ ΚΑΤΆ ΤΗΝ ΠΑΡΑΔΟΣΙΑΚΗ ΣΥΓΚΟΜΙΔΗ ΟΠΩΡΟΦΌΡΩΝ ΔΈΝΔΡΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ RFID....795
Ι.Γ. Αμπατζίδης, Σ.Γ. Βουγιούκας και Δ.Δ. Μπόχτης
ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ ΣΤΟΥΣ ΕΠΙΤΟΠΙΟΥΣ ΕΛΕΓΧΟΥΣ ΤΗΣ ΕΝΙΑΙΑΣ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΣΤΗΝ ΤΗΝΟ 803
Νικόλαος Μαλάμος, Γεώργιος Παγανέλης
ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ SLURP ΚΑΙ GIS ΓΙΑ ΤΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΩΝ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΤΟΥ ΠΟΤΑΜΟΥ ΑΛΜΩΠΑΙΟΥ 812
Π.Ε. Γεωργίου, Γ. Γεωργούλιας, Δ.Μ. Παπαμιχαήλ και Μ.Ι. Διαμαντοπούλου
ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΓΕΩΡΓΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΩΝ ΜΕ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ΣΤΗΡΙΞΗΣ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ 821
Δ.Δ. Μπόχτης, Σ.Γ. Βουγιούκας, Ι.Γ. Αμπατζίδης και Κ.Α. Τσατσαρέλης
ΜΗ-ΓΡΑΜΜΙΚΟΣ ΠΡΟΒΛΕΠΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΒΑΣΕΙ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΓΙΑ ΑΥΤΟΜΑΤΗ ΠΛΟΗΓΗΣΗ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ ΓΕΩΡΓΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ 829
Σ. Γ. Βουγιούκας
ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΤΟΠΟΛΟΓΙΑΣ ΤΟΥ ΑΣΥΡΜΑΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ ΣΕ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΓΕΩΡΓΙΑ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ....835
Κατσαλής Κ., Ξενάκης Α., Σακαλλερίου Α., Κίκιρας Π.
ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΚΑΙ ΤΑΥΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΕΠΙΤΡΑΠΕΖΙΩΝ ΣΤΑΦΥΛΙΩΝ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΠΑΡΑΔΟΣΙΑΚΗ ΣΥΓΚΟΜΙΔΗ....843
Ι.Γ. Αμπατζίδης, Γ.Σ. Τζελέπης και Σ.Γ. Βουγιούκας
ΑΝΤΙΛΗΨΗ ΕΛΛΗΝΩΝ ΑΓΡΟΤΩΝ ΓΙΑ ΤΗ ΓΕΩΡΓΙΑ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ....850
Σ. ΜΟΥΡΤΖΙΝΗΣ, Σ. ΦΟΥΝΤΑΣ, Θ. ΓΕΜΤΟΣ
ΜΕΛΕΤΗ ΧΩΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΧΡΟΝΙΚΗΣ ΠΑΡΑΛΛΑΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΣΕ ΟΠΩΡΩΝΕΣ ΜΗΛΙΑΣ....858
Α. Δ. Αγγελοπούλου , S. Blackmore, Σ. Φουντάς, Θ. Α. Γέμτος και Γ. Δ. Νάνος

ΖΩΝΕΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΒΑΣΕΙ ΧΑΡΤΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ, ΠΟΙΟΤΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ 866
Α. Τάνος, Α. Αγγελοπούλου, Σ. Φουντάς, Θ.Α. Γέμτος, Γ.Δ. Νάνος και Α. Χατζηνίκος
ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΕΚΤΕΛΕΣΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ ΚΟΠΗΣ ΧΟΡΤΟΥ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΑΥΤΟΝΟΜΟΥ ΕΛΚΥΣΤΗΡΑ 874
Δ. Μπόχτης, H.W. Griepentrog, Σ. Βουγιούκας, N.A. Andersen
ΧΡΗΣΗ ΔΙΑΧΡΟΝΙΚΩΝ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ SPOT 5 ΓΙΑ ΤΗΝ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΑΓΡΟΤΕΜΑΧΙΩΝ 882
Λ. Τούλιος, Δ. Δουδουμοπούλου, Μ. Τούλιος, και Δ. Χατζημιτσής
ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗΣ ΡΕΥΣΤΟΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΣΕ ΚΕΛΙ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ ΕΥΘΕΩΣ ΚΑΝΑΛΙΟΥ 890
Αικατερίνη Α. Μπαξεβάνου, Δημήτριος Κ. Φείδαρος
ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΡΟΜΠΟΤΙΚΗΣ ΠΛΑΤΦΟΡΜΑΣ ΧΑΜΗΛΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ ΓΕΩΡΓΙΚΩΝ ΠΡΑΚΤΙΚΩΝ 898
Τρέσσος Κ.Δ., Ανδρέου Ι.Α., Blackmore S. , Φουντάς Σ., Γέμτος Θ.Α.

Κατάλογος Συγγραφέων

Αγγελοπούλου	Α.
Αλαμάνου	Μ.
Αλεξίου	Δ.
Αλεξίου	Ι.
Άμπας	Β.
Αμπατζίδης	Ι.Γ.
Αναστασόπουλος	Η.
Ανδρέου	Α.
Άνθης	Α.
Αντωνόπουλος	Β.
Αραβαντινός–Καρλάτος	Ε.
Αραμπατζής	Γ.
Ασχονίτης	Β.
Αυγουλάς	Χ.
Αυγουστής	Α.
Βαγγέλας	Ι.
Βαλιάντζας	Ι.
Βασιλάκογλου	Ι.
Βασιλειάδης	Λ.
Βαφειάδης	Δ.
Βαφειάδης	Ι.
Βέντζας	Δ.
Βλαχογιάννης	Μ.
Βλάχος	Β.
Βογιατζή	Ε.
Βουγιούκας	Σ.
Βούλγαρης	Θ.
Βύρλας	Π.
Γέμτος	Θ.
Γεωργίου	Π.Ε.
Γεωργούλιας	Γ.
Γεωργούσης	Χ.
Γιαλαμάς	Θ.
Γιαμούρη	Μ.
Γιαννούλης	Α.
Γκόλια	Ε.
Γκουγκουλιάς	Ν.
Γράβαλος	Ι.
Γραβάνης	Γ.
Γραβάνης	Φ.
Δαλέζιος	Ν.
Δεδούσης	Α.
Δέρκας	Ν.
Δημήρκου	Α.
Δημητριάδης	Χ.
Δημόκας	Γ.
Δημόκας	Ν.
Δημοπούλου	Κ.
Διαμαντόπουλος	Ε.
Διαμαντοπούλου	Μ.Ι.
Δομενικιώτης	Χ.
Δουδουμοπούλου	Δ.
Ελμαλόγλου	Σ.
Εσσάμ	Μ.
Ζαγορίτης	Α.
Ζάννης	Κ.
Ζαραγκότας	Χ.
Ηλιόπουλος	Χ.
Θεοδωρίδη	Θ.
Θεοχάρης	Μ.
Ιακωβάκης	Β.
Καβαλάρης	Χ.
Καλαβρυώτου	Π.
Καλφούντζος	Δ.
Καπετάνιος	Ν.
Καραγιάννης	Α.
Καραγιάννης	Ε.
Καραμάνος	Α.
Καραμούζης	Δ.Ν.
Καραμούτης	Χ.
Καραρίζος	Π.
Κάργας	Γ.
Καρπούζος	Δ.
Κατέρης	Δ.
Κατσαλής	Κ.
Κατσούλας	Ν.
Κερκίδης	Π.
Κίκιρας	Π.
Κίττας	Κ.
Κόκορας	Ι.
Κολιπέτσας	Κ.
Κοτσακιώτη	Χ.Κ.
Κούγιας	Π.
Κουτσερής	Ε.
Κουτσοφίτης	Ζ.
Κυρίκου	Ι.
Κωτσόπουλος	Θ.
Κωτσόπουλος	Σ.
Λάκης	Χ.
Λάμπου	Ε.
Λαμπρινός	Γ.
Λεκάκης	Ε.Η.
Λέλλης	Θ.
Λιανός	Γ.

Λίτσκας	Β.	Παναγιωτίδη	Α.
Λόκκας	Φ.	Παναγιωτόπουλος	Κ.Π.
Λόντρα	Π.	Παναγιώτου	Ι.
Λουκάς	Α.	Πανώρας	Α.
Λυκοσκούφης	Ι.	Παπαγιαννοπούλου	Α.
Μαγαλιός	Σ.	Παπαδάκης	Γ.
Μαθιουλάκης	Ε.	Παπαδήμας	Κ.
Μαλάμος	Ν.	Παπαδόπουλος	Α.
Μανωλαράκη	Χ.	Παπαδόπουλος	Φ.
Μανωλοπούλου	Ε.	Παπαδοπούλου	Ο.
Μαρτζόπουλος	Γ.	Παπαμάνθος	Χ.
Μαυρογιαννόπουλος	Γ.	Παπαμιχαήλ	Δ.
Μελάς	Δ.	Παπανικολάου	Χ.
Μητρόπουλος	Δ.	Παπαχρήστου	Ε.
Μήτσιος	Ι.Κ.	Παράφορος	Δ.
Μήτσιου	Π.	Παρισόπουλος	Γ.
Μουρτζίνης	Σ.	Πατελοδήμου	Σ.
Μουσουλιώτης	Α.	Πατσιαλή	Σ.
Μπαλαφουτης	Α.	Πατσιαλής	Κ.
Μπαλτάς	Ε.	Παυλάτου Βε	Α.
Μπαμπατζιμόπουλος	Χ.	Πεντάρης	Ν.
Μπαξεβάνου	Α.	Πεπονάκης	Κ.
Μπαρτζάνας	Θ.	Πετσάνη	Δ.
Μπελεσσιώτης	Β.	Πούλιος	Ι.
Μπιλάλης	Δ.	Προδρόμου	Κ.Π.
Μπίσκα	Π.Ε.	Ραμνιώτης	Θ.
Μπλάντα	Α.	Σάββας	Δ.
Μπότας	Μ.	Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη	Μ.
Μπόχτης	Δ.	Σακκάς	Χ.
Μπριασούλης	Δ.	Σαμαράς	Θ.
Μυγδάκος	Γ.	Σαπουντζάκης	Γ.
Μυγδάκος	Ε.	Σαπουντζής	Μ.
Μυστριώτης	Α.	Σγουμποπούλου	Α.
Νάνμος	Ν.	Σιήμης	Α.
Νάνος	Γ.Δ.	Σκαμαγκούλης	Γ.
Νάτσης	Α.	Σούλης	Κ.
Νάτσης	Η.	Σπανομήτρος	Ι.Α.
Νικήτα-Μαρτζοπούλου	Χ.	Σταμούλης	Γ.
Ντάφας	Ε.	Σταυρινός	Ε.
Ντίνας	Γ.	Συλλαίος	Ν.
Ντιούδης	Ι.Π.	Τάνος	Α.
Ντιρογιάννης	Α.Γ.	Τζαμπύρας	Γ.
Ξανθόπουλος	Γ.	Τζελέπης	Γ.Σ.
Ξενάκης	Απ.	Τζιαφάς	Γ.
Ξένος-Κοκολέτσης	Π.	Τζιαχρής	Π.
Ξυραδάκης	Π.	Τζιγκούρας	Ι.
Παγανέλης	Γ.	Τίγκας	Δ.

Τοπάλογλου	Χ.	Φουντάς	Σ.
Τούλιος	Λ.	Φωτίδης	Ι.
Τούλιος	Μ.	Χαλασοχώρη	Ν.
Τρέσσος	Κ.Δ.	Χατζηγιαννάκης	Ε.
Τρυπαναγνωστόπουλος	Ι.	Χατζημιτσής	Δ.
Τσακίρης	Γ.	Χατζής	Ε.
Τσάντζος	Σ.	Χάχαλης	Δ.
Τσατσαρέλης	Κ.Α.	Χισκάκης	Μ.
Τσιάνος	Ν.	Χουλιαράς	Ν.
Τσιούρης	Σ.	Χρίστου	Ο.
Τσιρίκογλου	Θ.	Ψυχογυιού	Σ.
Τσιρογιάννης	Ι.Λ.	Blackmore	S.
Τσιρόπουλος	Ζ.	Brighton	J.L.
Τσιτσιγιάννης	Α.	Draoui	B.
Τσολάκη	Γ.	Godwin	R.
Τσολάκης	Ν.	Griepentrog	H.W.
Φασουλή	Β.	Rahil	M.H.
Φείδαρος	Δ.	Tadj	N.
Φιλίντας	Θ.Αγ.	Tchamitchian	M.
Φλωράς	Στ.	Tillett	N.

Ενότητα 1:

Γεωργικά Μηχανήματα – Εξοπλισμοί

(106)

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΡΙΕΤΟΥΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ ΒΙΟΛΟΓΙΚΟΥ ΚΑΙ ΣΥΜΒΑΤΙΚΟΥ ΒΑΜΒΑΚΙΟΥ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ: ΝΕΟΤΕΡΑ ΟΙΚΟΝΟΜΟΤΕΧΝΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Μυγδάκος Ε.[1], Πατσιαλή Σ.[2], Αυγουλάς Χ.[2], Μυγδάκος Γ.[3]
[1] Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων, Τμ. Διοίκησης Επιχ. Αγρ. Προϊόντων και Τροφίμων, Σεφέρη 2, Αγρίνιο 30100, τηλ. 26410 39524, Fax 26410 39574, email: emygdak@cc.uoi.gr
[2] Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Εργαστήριο Γεωργίας
[3] Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Διοίκησης Επιχειρήσεων

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εργασία αυτή ερευνάται η οικονομικότητα της βιολογικής καλλιέργειας βαμβακιού έναντι της συμβατικής, σε πείραμα 3 ετών με 4 μεταχειρίσεις και 4 επαναλήψεις πλήρως τυχαιοποιημένες, με τη χρήση βίκου ως χειμερινής καλλιέργειας και ενσωμάτωσή του για χλωρή λίπανση ή με κόψιμο και πώληση ως σανό, τη χρήση μάρτυρα χωρίς λίπανση και τη συμβατική καλλιέργεια για σύγκριση. Τα αποτελέσματα έδειξαν στατιστικά σημαντικά χαμηλότερο κόστος στη βιολογική καλλιέργεια, σημαντικά υψηλότερη απόδοση και ακόμη πιο σημαντικά υψηλότερο ακαθάριστο κέρδος υπέρ της βιολογικής καλλιέργειας, με την ίδια τιμή πώλησης του προϊόντος. Με υψηλότερη τιμή πώλησης του βιολογικού βαμβακιού κατά 22-31% και επιδότηση 60 €/στρέμμα, η βιολογική καλλιέργεια υπερέχει κατά πολύ της συμβατικής ακόμη και χωρίς καμιά λίπανση.

EXPERIMENTAL DATA OF THREE YEARS CULTIVATION OF ORGANIC AND CONVENTIONAL COTTON IN GREECE: NEW ECONOMIC RESULTS

E. Mygdakos[1], S. Patsiali[2], Ch. Avgoulas[2], Gr. Mygdakos[3]
[1] University of Ioannina, Dept. of Agribusiness Management, Agrinio, 30100, Greece. e-mail: emygdak@cc.uoi.gr
[2] Agricultural University of Athens, Greece.
[3] University of Patras, Department of Business Administration

ABSTRACT

In this study an attempt has been made to evaluate the economic potential of organic growing cotton against conventional cotton, under Greek conditions. Organic and conventional systems of cotton growing were compared in terms of yields, costs and earnings. To this end, a three year (2003-2005) randomized complete block design with four treatments and four replications was carried out. The experimental data were analyzed by using the statistical method of analysis of variance. The results obtained have shown a significantly lower cost for organic cotton up to 6.2 percent, a significantly higher yield up to 8 percent and an even significantly higher gross margin up to 55.1 percent in favor of organic cotton, when crop is sold in flat prices. If premium price and subsidies for organic cotton were taken into account, the gross margin values became highly significant compared to conventional cotton.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το βαμβάκι είναι το περισσότερο ενδιαφέρον προϊόν παγκοσμίως με μια παραγωγή που φτάνει τα 23 εκατομμύρια τόνους εκκοκκισμένου βαμβακιού και προσφορά εισοδήματος σε παραγωγούς 60 και πλέον χωρών στον κόσμο[7,27]. Μεταξύ των χωρών αυτών περιλαμβάνεται και η χώρα μας, όπου το βαμβάκι το αποκαλούμενο και «λευκός χρυσός» κατέχει την πρώτη θέση από την άποψη της ακαθάριστης αξίας ύψους 1,2 δισεκατομμυρίων Ευρώ, καλύπτοντας μια έκταση γύρω στα 400000 εκτάρια με μια παραγωγή που ξεπερνά τους 1.300.000 τόνους [18]. Στη βαμβακοκαλλιέργεια ασχολούνται 100.000 γεωργικές οικογένειες ενώ άλλες 80.000 αστικές οικογένειες εμπλέκονται έμμεσα με το προϊόν [1,24]. Όπως και στις άλλες καλλιέργειες έτσι και στο βαμβάκι τα τελευταία 60 χρόνια είχε παρατηρηθεί σημαντική αύξηση των αποδόσεων, λόγω της ευρείας χρήσης των αγροχημικών, της νέας τεχνολογίας, των νέων ποικιλιών κλπ. Οι μεγάλες όμως αυξήσεις των αποδόσεων τόσο στο βαμβάκι όσο και στις άλλες καλλιέργειες είχαν και τις συνέπειές τους όπως: Η μείωση της οργανικής ουσίας, η διάβρωση και υποβάθμιση του εδάφους, η ρύπανση του περιβάλλοντος και των υπογείων υδάτων, η υποβάθμιση της ποιότητας των προϊόντων, τα μεγάλα αποθέματα προϊόντων, το αυξημένο κόστος παραγωγής και άλλα, για τα οποία η σημερινή εντατική ή εκμηχανισμένη γεωργία ενοχοποιείται σε μεγάλο βαθμό [3,4,5,8,20,24,27].

Μπροστά σ' αυτή την κατάσταση η λύση που προτείνεται από πολλούς ερευνητές, διάφορους φορείς και από την Ευρωπαϊκή Ένωση είναι η αειφορική γεωργία, η οποία βασίζεται στη μηδενική χρήση αγροχημικών και στην αντικατάσταση των εκτός γεωργίας εισροών με προερχόμενες από τη γεωργία για την παραγωγή υγιεινών προϊόντων και την υγιεινή διατροφή του ανθρώπου, συμπεριλαμβανομένης και της Μεσογειακής διατροφής [4,20,28,29,32,33,34].

Η βιολογική γεωργία μπορεί να εφαρμοστεί και στην καλλιέργεια βαμβακιού που εμφανίζεται ως η πιο απαιτητική καλλιέργεια σε αγροχημικά, με συνέπεια τη σημαντική μείωση του οικονομικού αποτελέσματος της καλλιέργειας αφού το κόστος τους κυμαίνεται από 50% έως 86% του συνολικού κόστους παραγωγής του προϊόντος [8,12,13,14].

Σύμφωνα με τη Διεθνή Συμβουλευτική Επιτροπή Βάμβακος: "Οργανικό βαμβάκι είναι αυτό που παράγεται χωρίς χημικά λιπάσματα, μυκητοκτόνα, εντομοκτόνα, ζιζανιοκτόνα, ρυθμιστές ανάπτυξης και αποφυλλωτικά, το οποίο πιστοποιείται από αρμόδιο φορέα πιστοποίησης" [14]. Βιολογικό βαμβάκι καλλιεργείται στην Τουρκία, στις ΗΠΑ, στην Ινδία, στην Αργεντινή, στην Αυστραλία, στην Αίγυπτο, στη Βραζιλία κλπ. σε μικρή κλίμακα και πωλείται σε τιμές μέχρι και 20-22% πάνω από το συμβατικό [6,8,14,].

Μέχρι σήμερα η παραγωγή του βιολογικού βαμβακιού είναι περιορισμένη λόγω πολλών περιοριστικών παραγόντων [11,14,15,19]. Αποτέλεσμα των παραγόντων αυτών είναι οι χαμηλότερες στρεμματικές αποδόσεις της οργανικής καλλιέργειας βαμβακιού σε σχέση με αυτές της συμβατικής καλλιέργειας. Σύμφωνα με τη Διεθνή Συμβουλευτική Επιτροπή Βάμβακος, η μείωση της απόδοσης κυμαίνεται από 1 % μέχρι και 43%. Υπάρχουν όμως και αναφορές για μη σημαντικές ή καθόλου διαφορές στην απόδοση μεταξύ βιολογικής και συμβατικής καλλιέργειας [8,31], καθώς και αναφορές για μεγαλύτερες αποδόσεις της βιολογικής καλλιέργειας βαμβακιού μέχρι και 7% και υψηλότερες ακόμη στις ΗΠΑ και αλλού [6, 7,11,14, 15,16,23].

Αναφορικά με την ποιότητα, το οικολογικό βαμβάκι φαίνεται να υπερτερεί από άποψη υγιεινής, ομοιομορφίας, ωριμότητας, αντοχής και πιθανώς και μικροναίρ λόγω της μη χρησιμοποίησης αγροχημικών και αποφυλλωτικών, ενώ το μήκος της ίνας και η κλάση φαίνονται χαμηλότερα [2,14].

Τέλος, σε ότι αφορά στο κόστος παραγωγής τα ελάχιστα δεδομένα δείχνουν ότι οι

δαπάνες παραγωγής του βιολογικού βαμβακιού είναι υψηλότερες κατά 10% -15% σε σχέση με το συμβατικό, γεγονός που αποδίδεται στις δαπάνες για την καταπολέμηση των ζιζανίων και των εντόμων και στη μειωμένη απόδοση [8,14,20,21]. Συνέπεια του υψηλότερου κόστους παραγωγής είναι και οι υψηλότερες τιμές πώλησης του βιολογικού βαμβακιού [2,8]]. Υπάρχουν όμως και αναφορές όπου το καθαρό κέρδος του βιολογικού βαμβακιού ήταν μεγαλύτερο από αυτό του συμβατικού [6,7,23].

Στη χώρα μας έγινε τα τελευταία χρόνια μια προσπάθεια καλλιέργειας βιολογικού βαμβακιού σε περιορισμένη έκταση χωρίς ικανοποιητικά οικονομικά αποτελέσματα [35]. Ο Οργανισμός Βάμβακος, αντίθετα, σε μια εξαετή πειραματική έρευνα καλλιέργειας βιολογικού και συμβατικού βαμβακιού διαπίστωσε πολύ θετικά αποτελέσματα υπέρ της βιολογικής καλλιέργειας. Συγκεκριμένα, η βιολογική καλλιέργεια βαμβακιού με τη χρησιμοποίηση ψυχανθούς (κουκιών ή βίκου) για χλωρή λίπανση, υπερείχε της συμβατικής καλλιέργειας σε απόδοση κατά 525 κιλά/εκτάριο ή 14,5% και σε ακαθάριστο κέρδος κατά 312 €/εκτάριο ή 24,3% περίπου [25,26].

Στην παρούσα εργασία γίνεται συγκριτική ανάλυση των οικονομικών αποτελεσμάτων της συμβατικής καλλιέργειας βαμβακιού με τη βιολογική καλλιέργεια, στην οποία χρησιμοποιείται ο βίκος ως χειμερινή καλλιέργεια (cover crop) και είτε ενσωματώνεται για χλωρή λίπανση, είτε κόβεται και πωλείται για απόκτηση επιπλέον εισοδήματος. Το δεύτερο αυτό στοιχείο αποτελεί μια καινοτομία της παρούσας έρευνας σε σχέση με προηγούμενες ανάλογες μελέτες, η οποία γίνεται για πρώτη φορά στη χώρα μας. Παράλληλα ερευνάται και η περίπτωση της βιολογικής καλλιέργειας βαμβακιού χωρίς καμιά λίπανση (μάρτυρας). Η συγκριτική μελέτη των αποδόσεων και των οικονομικών αποτελεσμάτων της συμβατικής και βιολογικής καλλιέργειας βαμβακιού γίνεται με βάση το ακαθάριστο κέρδος, που είναι η διαφορά μεταξύ ακαθάριστης προσόδου και μεταβλητών (άμεσων) δαπανών παραγωγής του προϊόντος [11,17,18,20].

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Το πείραμα της παρούσας μελέτης πραγματοποιήθηκε στην περιοχή Παλαμά Καρδίτσας την τριετία 2003-2005. Αποτελείται από τέσσερις τυχαιοποιημένες πλήρως ομάδες με τέσσερις επαναλήψεις συνολικής έκτασης 2.560 τ.μ. Οι τέσσερις μεταχειρίσεις είναι: Η βιολογική καλλιέργεια βαμβακιού με χρησιμοποίηση βίκου για χλωρή λίπανση. Η βιολογική καλλιέργεια όπου ο βίκος κόβεται και πωλείται ως σανό για απόκτηση δεύτερου εισοδήματος από τον ίδιο αγρό την ίδια χρονιά. Η βιολογική καλλιέργεια – μάρτυρας, χωρίς καμιά λίπανση, και η συμβατική καλλιέργεια.

Η μηχανική σύσταση του εδάφους, όπως προέκυψε από τη σχετική ανάλυση είναι: άμμος 34%, άργιλος 25% και ιλύς 41%. Το PH είναι 8,4 και η οργανική ουσία 0,8%.

Οι καλλιεργητικές φροντίδες του πειραματικού τεμαχίου ξεκινάνε από το φθινόπωρο με την κοπή των βαμβακοστελεχών και ακολουθούν οι εξής εργασίες:

α. Στην πρώτη μεταχείριση μετά τη στελεχοκοπή ακολουθεί η σπορά του βίκου, ο οποίος αναπτύσσεται όλο το χειμώνα και στις αρχές Απριλίου γίνεται ενσωμάτωσή του. Στη συνέχεια γίνεται κατάλληλη προετοιμασία της σποροκλίνης και ακολουθεί η σπορά του βαμβακιού. Η ποσότητα της χλωρής βιομάζας του βίκου κυμαίνεται γύρω στα 14000 κιλά/εκτάριο [26].

β. Στη δεύτερη μεταχείριση ακολουθείται η ίδια διαδικασία σποράς του βίκου με την πρώτη μεταχείριση, την ίδια ημέρα. Όμως την άνοιξη ο βίκος κόβεται ξηραίνεται και πωλείται για ζωοτροφή. Στη συνέχεια γίνεται προετοιμασία για τη δημιουργία της επιθυμητής σποροκλίνης και σποράς του βαμβακιού. Η ποσότητα ξηράς μάζας (σανού) που πωλείται ανέρχεται σε 1650 κιλά/εκτάριο [26].

γ. Στην τρίτη μεταχείριση μετά την κοπή των στελεχών γίνεται όργωμα ή καλλιεργητής. Την άνοιξη πραγματοποιούνται οι αναγκαίες προετοιμασίες για τη

δημιουργία της κατάλληλης σποροκλίνης, χωρίς καμιά λίπανση και ακολουθεί η σπορά.

δ. Στην τέταρτη μεταχείριση γίνονται οι ίδιες επεμβάσεις, όπως και στην τρίτη μεταχείριση, καθώς και λίπανση με 500 κιλά/εκτάριο λιπάσματος του τύπου 20-10-10, ζιζανιοκτονία και στη συνέχεια δημιουργία της κατάλληλης σποροκλίνης και σπορά του βαμβακιού.

Η σπορά γίνεται μεταξύ 20 και 30 Απριλίου με την ποικιλία Celia, σε ποσότητα 30 κιλών /εκτάριο. Μετά το φύτρωμα ακολουθούν δύο μηχανοσκαλίσματα και δύο τσαπίσματα για την καταστροφή των ζιζανίων σε όλες τις μεταχειρίσεις. Μέσα στην καλλιεργητική περίοδο γίνονται τρία με τέσσερα ποτίσματα με το σύστημα σταγόνας για όλη την περίοδο. Καμιά άλλη επέμβαση από καλλιεργητικής πλευράς δεν έγινε ούτε χρειάστηκε να γίνει διότι δεν υπήρξε κανένα πρόβλημα.

Η συγκομιδή του βαμβακιού γίνεται με τα χέρια στις δύο μεσαίες γραμμές των επαναλήψεων δύο φορές και τα δείγματα ζυγίζονται και γίνεται αναγωγή ανά εκτάριο για τη σύγκριση.

Για όλη την καλλιεργητική περίοδο καταγράφονται όλα τα οικονομικά στοιχεία που είναι απαραίτητα για τον υπολογισμό των δαπανών παραγωγής, του μεταβλητού κόστους και των οικονομικών αποτελεσμάτων. Τα δεδομένα αυτά αναλύονται και συστηματοποιούνται με βάση το ακαθάριστο κέρδος ως στοιχείο σύγκρισης [15,17,18,20]. Παράλληλα πραγματοποιείται στατιστική ανάλυση των δεδομένων με το στατιστικό πακέτο SPSS 13 (ανάλυση διακύμανσης και ανάλυση πολλαπλών συγκρίσεων) για τη διεξαγωγή των σχετικών συμπερασμάτων.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Στους Πίνακες 1 και 2 φαίνονται τα αποτελέσματα της τριετούς έρευνας. Στον Πίνακα 1 παρουσιάζονται τα οικονομικά αποτελέσματα και στον πίνακα 2 τα αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης των δεδομένων της τριετίας. Παρατηρώντας τον πίνακα 1 διαπιστώνονται τα εξής:

1. Η απόδοση είναι μεγαλύτερη (3903 κιλά/εκτάριο.) στη μεταχείριση όπου απομακρύνεται ο βίκος και σχετικά χαμηλότερη (3780 κιλά/εκτάριο. ή ποσοστό 98,2%) στη μεταχείριση όπου ενσωματώνεται ο βίκος, αν και το αντίθετο θα έπρεπε να αναμένεται, αφού στη δεύτερη περίπτωση γίνεται και χλωρή λίπανση με την ενσωμάτωση του βίκου. Η υστέρηση αυτή αποδίδεται στη βραδεία ανοργανοποίηση της βιομάζας που ενσωματώνεται στο έδαφος γνωστή και ως «Προσωρινή ακινητοποίηση του Αζώτου» (temporary nitrogen immobilization), με συνέπεια τη σχετικά περιορισμένη ανάπτυξη και παραγωγή των φυτών της μεταχείρισης αυτής σε σχέση με την περίπτωση που ο βίκος απομακρύνεται. Ακολουθεί η συμβατική καλλιέργεια με ακόμη μικρότερη απόδοση (3617 κιλά/εκτάριο. ή ποσοστό 92% σε σχέση με την πρώτη μεταχείριση και 94% σε σχέση με τη δεύτερη μεταχείριση) και τελευταία έρχεται η μεταχείριση χωρίς λίπανση (3053 κιλά/εκτάριο. ή ποσοστό 86% σε σχέση με τη συμβατική καλλιέργεια). Τα θετικά αυτά αποτελέσματα της βιολογικής καλλιέργειας βαμβακιού με χρήση του βίκου ως χειμερινή καλλιέργεια συμφωνούν με τα αποτελέσματα προηγούμενων μελετών του Οργανισμού Βάμβακος αλλά και άλλων ερευνητών, επιβεβαιώνοντας για μια φορά ακόμη τη δυνατότητα και χρησιμότητα των ψυχανθών, σε αντικατάσταση των χημικών λιπασμάτων, δείχνοντας παράλληλα και την κατεύθυνση προς την οποία πρέπει να κινηθούν οι βαμβακοπαραγωγοί μας για μεγαλύτερες αποδόσεις και μικρότερους κινδύνους και συνέπειες για τους ίδιους και το περιβάλλον [6,23,25,26].

ΠΙΝΑΚΑΣ 1. Απόδοση, κόστος και ακαθάριστο κέρδος βιολογικής και συμβατικής καλλιέργειας βαμβακιού, μέσοι όροι αποτελεσμάτων τριετίας (2003-2005)

Είδη στοιχείων	Οργανική καλλιέργεια βαμβακιού			Συμβατική καλλιέργεια βαμβακιού
	με ενσωματούμενο το βίκο	με κόψιμο και απομάκρυνση του βίκου	χωρίς καμιά λίπανση	
Απόδοση βαμβακιού (κιλά/εκτάριο)	3,780	3,903	3,053	3,617
Τιμή βαμ/κιού. (€/κιλό)	0.75	0.75	0.75	0.75
Ακαθ.προσ. βαμβακιού. (€/εκτάριο)	2,835	2,927	2,290	2,713
Απόδοση βίκου (κιλά/εκτάριο)		1650		
Τιμή βίκου(€/κιλό)		0.2		
Ακαθ. πρόσοδος βίκου (€/εκτάριο)		330		
Συν.ακαθαρ. πρόσοδος (€/εκτάριο)	2,835	3,257	2,290	2,713
Συνολικές άμεσες δαπάνες (€/εκτάριο)	1,780	1,788	1,403	1,766
Άμεσο κόστος (€/κιλό)	0.47	0.46	0.46	0.49
Ακαθάριστο κέρδος (€/εκτάριο)	**1,055**	**1,469**	**887**	**947**
Πρόσοδος από αυξημ. τιμή (0,235 €/κιλό) βιολ. βαμβακιού. (€/εκτάριο)	888	917	717	0
Πρόσοδος. με αυξημένη. τιμή βιολογ. βαμβ. (€/εκτάριο)	3,723	4,174	3,007	2,713
Ακαθ. κέρδος με αυξ. τιμή βιολ.βαμβ. (€/εκτάριο)	**1,943**	**2,386**	**1,604**	**947**

2. Η ακαθάριστη πρόσοδος του βαμβακιού, που είναι συνάρτηση της απόδοσης και της τιμής του προϊόντος, εμφανίζεται υψηλότερη στη μεταχείριση με απομακρυνόμενο το βίκο με 2927 €/εκτάριο, ως αποτέλεσμα της υψηλότερης απόδοσης σε σύσπορο βαμβάκι. Στη μεταχείριση αυτή θα πρέπει να προστεθεί και η ακαθάριστη πρόσοδος από την πώληση του βίκου που είναι 330 €/εκτάριο. (1650 κιλά x 0.20 €/κιλό.), οπότε η συνολική ακαθάριστη πρόσοδος φτάνει στα 3257 €/εκτάριο. Στη συνέχεια έρχεται η μεταχείριση με ενσωματούμενο το βίκο με 2835 €/εκτάριο ή ποσοστό 98,1% σε σχέση με την προηγούμενη και ακολουθεί η συμβατική καλλιέργεια με 2713 €/εκτάριο ή

ποσοστό 83,8% σε σχέση με την πρώτη και 94,3% σε σχέση με τη δεύτερη. Τελευταία βρίσκεται η μεταχείριση χωρίς λίπανση με 2290 €/εκτάριο ή ποσοστό 86% σε σχέση με τη συμβατική καλλιέργεια.

3. Οι συνολικές μεταβλητές (άμεσες) δαπάνες παραγωγής εμφανίζονται υψηλότερες (1788 €/εκτάριο) στη μεταχείριση με απομακρυνόμενο το βίκο, είναι ελάχιστα χαμηλότερες (1780 €/εκτάριο) στη μεταχείριση με ενσωματούμενο το βίκο και ελάχιστα, επίσης, χαμηλότερες (1766 €/εκτάριο) στη συμβατική καλλιέργεια. Αυτό σημαίνει ότι οι δαπάνες λίπανσης και ζιζανιοκτονίας της συμβατικής καλλιέργειας, ισοσκελίζονται από τις δαπάνες που αφορούν στην καλλιέργεια του βίκου, στην κοπή, στην ενσωμάτωση κλπ. Πολύ λιγότερες (1403 €/εκτάριο.) είναι οι μεταβλητές δαπάνες παραγωγής στη μεταχείριση χωρίς λίπανση, κάτι που είναι λογικό, αφού δεν υπάρχουν δαπάνες για βίκο, λίπανση και ζιζανιοκτονία.

4. Το μεταβλητό κόστος παραγωγής που είναι συνάρτηση των μεταβλητών δαπανών παραγωγής και της απόδοσης, είναι ίδιο (0,46 €/κιλό) στη μεταχείριση με απομακρυνόμενο το βίκο και στη μεταχείριση χωρίς λίπανση. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η μεταχείριση χωρίς λίπανση έχει μεν μικρή απόδοση αλλά έχει και λιγότερες δαπάνες με αποτέλεσμα οι συνέπειες στο κόστος να είναι ίδιες. Ελάχιστα υψηλότερο (0,47 €/κιλό) είναι το κόστος στη μεταχείριση με ενσωματούμενο το βίκο και ακόμη υψηλότερο (0,49 €/κιλό) στη συμβατική καλλιέργεια. Αυτό σημαίνει ότι το κόστος της συμβατικής καλλιέργειας είναι υψηλότερο κατά 7,3% σε σχέση με αυτό των δύο πρώτων μεταχειρίσεων (απομακρυνόμενο βίκο και χωρίς λίπανση) και κατά 1,2% σε σχέση με τη μεταχείριση με ενσωματούμενο το βίκο.

5. Τέλος, το ακαθάριστο κέρδος, που αποτελεί και το μέτρο σύγκρισης μεταξύ των μεταχειρίσεων, παρουσιάζει την εξής εικόνα. Είναι υψηλότερο, όπως είναι λογικό, στη μεταχείριση με απομακρυνόμενο το βίκο φτάνοντας τα 1469 €/εκτάριο, ακολουθεί η μεταχείριση με ενσωματούμενο το βίκο με 1055 €/εκτάριο και έπεται η συμβατική καλλιέργεια με 947 €/εκτάριο που αντιστοιχεί σε ποσοστό 64,5% σε σχέση με την πρώτη μεταχείριση και 90% σε σχέση με τη δεύτερη. Τα αποτελέσματα αυτά συμφωνούν, επίσης, με εκείνα προηγούμενων μελετών [6,25,26,30] και ενισχύουν ακόμη περισσότερο την οικονομικότητα της βιολογικής καλλιέργειας βαμβακιού σε σχέση με τη συμβατική, αφού το ακαθάριστο κέρδος αυξάνει κατά 522 €/εκτάριο ή ποσοστό 55,1% στην περίπτωση που απομακρύνεται ο βίκος και κατά 108 €/εκτάριο, έναντι 312 €/εκτάριο σε προηγούμενες μελέτες [25,26], στην περίπτωση της ενσωμάτωσης του βίκου για χλωρή λίπανση. Στην τελευταία θέση, όχι όμως μακριά, βρίσκεται η μεταχείριση χωρίς λίπανση με 887 €/εκτάριο ή ποσοστό 93,4% σε σχέση με τη συμβατική καλλιέργεια. που σημαίνει μια διαφορά μόλις 60 €/εκτάριο, έναντι μηδενικής διαφοράς σε προηγούμενες μελέτες [25,26], μια διαφορά που δημιουργεί εύλογα ερωτηματικά αναφορικά με τη χρήση λιπασμάτων στη σημερινή συμβατική βαμβακοκαλλιέργεια.

Τα παραπάνω πολύ θετικά αποτελέσματα για τη βιολογική καλλιέργεια βαμβακιού προέκυψαν στο επίπεδο του αγρού από τη χρήση και μόνο του βίκου για χειμερινή κάλυψη και λίπανση του εδάφους, μια πρακτική χωρίς καμιά δυσκολία εφαρμογής της από τους παραγωγούς. Βεβαίως τα οφέλη αυτά δεν είναι τα μοναδικά. Υπάρχουν και άλλα θετικά στοιχεία για τα βιολογικά προϊόντα στο επίπεδο της αγοράς και συγκεκριμένα οι αυξημένες τιμές των προϊόντων αυτών που φτάνουν και στο διπλάσιο και πλέον της τιμής των συμβατικών [2,5,35]. Για το βιολογικό βαμβάκι στη διεθνή βιβλιογραφία αναφέρονται τιμές μέχρι και 22% υψηλότερες της τιμής του συμβατικού προϊόντος [2]. Με βάση τη νέα αυξημένη τιμή (κατά 22%) του βιολογικού βαμβακιού, προκύπτουν σημαντικότατα αποτελέσματα υπεροχής της βιολογικής καλλιέργειας, όπως φαίνεται στον πίνακα 1.

Στον πίνακα αυτόν παρουσιάζεται η επιπλέον πρόσοδος από την αυξημένη τιμή

(premium price) πώλησης του βαμβακιού, η οποία προστιθέμενη στα προηγούμενα μεγέθη δίνει νέα μεγέθη ακαθαρίστου προσόδου που είναι 3723 €/εκτάριο για τη μεταχείριση με ενσωματούμενο το βίκο, 4174 €/εκτάριο για την περίπτωση που απομακρύνεται ο βίκος και 3007 €/εκτάριο για την μεταχείριση χωρίς καμιά λίπανση. Τα νέα μεγέθη ακαθάριστου κέρδους είναι τώρα αρκετά υψηλότερα και συγκεκριμένα: Της μεταχείρισης με ενσωματωμένο το βίκο 1943 €/εκτάριο, της περίπτωσης με απομακρυνόμενο το βίκο 2386 €/εκτάριο και της μεταχείρισης χωρίς καμιά λίπανση 1604 €/εκτάριο, ενώ η συμβατική μεταχείριση παραμένει στα 947 €/εκτάριο Με τα νέα δεδομένα η μεταχείριση με ενσωματωμένο το βίκο έχει αυξημένο ακαθάριστο κέρδος κατά 105%, η μεταχείριση με απομακρυνόμενο το βίκο κατά 152%, αλλά και η μεταχείριση χωρίς καμιά λίπανση υπερέχει τώρα της συμβατικής κατά 69,4% ποσοστό διόλου ευκαταφρόνητο

Στα παραπάνω δεδομένα έγινε στατιστική ανάλυση με τη μέθοδο της ανάλυσης της διακύμανσης (ANOVA), όπως εφαρμόζεται σε πειραματικά σχέδια πλήρως τυχαιοποιημένων ομάδων. Επιπλέον, για τις πολλαπλές συγκρίσεις μεταξύ των μεταχειρίσεων εφαρμόστηκαν οι μέθοδοι Bonferroni και Tukey Honest Significant Difference, για επίπεδο σημαντικότητας 5%.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2**.** Στατιστικά στοιχεία σύγκρισης βιολογικής και συμβατικής καλλιέργειας βαμβακιού, μέσοι όροι αποτελεσμάτων τριετίας (2003-2005)

Μεταχειρίσεις	Απόδοση		Άμεσο κόστος		Α κ α θ ά ρ ι σ τ ο κ έ ρ δ ο ς			
					Ενιαία τιμή		Αυξημένη τιμή	
	Κιλά ανά εκτάριο	S.D.	€/κιλό	S.D.	€ ανά εκτάριο	S.D.	€ ανά εκτάριο	S.D.
Βιολογική καλλιέργεια βαμβακιού με ενσωματούμενο το βίκο	3,780[a]	742	0.47 [a]	0.10	1,055[a]	404	1,940[a]	568
Βιολογική καλλιέργεια βαμβακιού με κόψιμο και απομάκρυνση του βίκου	3,903[b]	682	0.46 [a]	0.08	1,469[b]	297	2,407[b]	447
Βιολογική καλλιέργεια βαμβακιού χωρίς καμιά λίπανση	3,053[c]	650	0.46 [a]	0.08	887[c]	178	1,686[c]	309
Συμβατική καλλιέργεια βαμβακιού	3,617[d]	627	0.49 [b]	0.07	947[d]	275	947[d]	275

Τιμές με τα ίδια γράμματα στην ίδια στήλη δεν διαφέρουν στατιστικά σημαντικά για επίπεδο σημαντικότητας 5 % (*p<0.05*)

Μια εικόνα των στατιστικών ευρημάτων της τριετούς έρευνας (2003-2005) παρουσιάζεται στον πίνακα 2. Από τον πίνακα αυτόν διαπιστώνονται τα εξής:

1. Σχετικά με την απόδοση σε σύσπορο βαμβάκι παρατηρείται ότι οι βιολογικές

μεταχειρίσεις με το βίκο έδειξαν στατιστικά σημαντική υπεροχή έναντι της συμβατικής καλλιέργειας για επίπεδο σημαντικότητας $p \leq 0,05$. Στατιστικά σημαντική διαφορά υπάρχει και μεταξύ της βιολογικής καλλιέργειας χωρίς λίπανση και της συμβατικής καλλιέργειας για το ίδιο επίπεδο σημαντικότητας, αλλά υπέρ της δεύτερης τη φορά αυτή.

2. Αναφορικά με το μεταβλητό κόστος παραγωγής, η ανάλυση έδειξε στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ όλων των μεταχειρίσεων της βιολογικής καλλιέργειας και της συμβατικής καλλιέργειας.

3. Τέλος, όσον αφορά στο ακαθάριστο κέρδος οι βιολογικές μεταχειρίσεις με βίκο υπερέχουν στατιστικά σημαντικά της συμβατικής καλλιέργειας για επίπεδο σημαντικότητας $p \leq 0,05$, ενώ η μεταχείριση χωρίς λίπανση υπολείπεται σημαντικά της συμβατικής καλλιέργειας.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα αποτελέσματα της συγκριτικής μελέτης της βιολογικής και συμβατικής καλλιέργειας βαμβακιού στη διάρκεια της τριετούς έρευνας έδειξαν και επιβεβαίωσαν για μια φορά ακόμη ότι η καλλιέργεια βιολογικού βαμβακιού με χρήση του βίκου για λίπανση ή/και για δεύτερο εισόδημα και δυνατή είναι και επικερδής για τους παραγωγούς αλλά και πολλαπλά ωφέλιμη για το περιβάλλον.

Από καλλιεργητικής άποψης δεν παρουσιάστηκε κανένα πρόβλημα στην τριετία σε καμιά φάση της καλλιέργειας, ενώ από οικονομικής άποψης η βιολογική καλλιέργεια υπερείχε σημαντικά.

Η βιολογική καλλιέργεια με χρήση βίκου ενσωματούμενο ή απομακρυνόμενο υπερτερεί σημαντικά της συμβατικής σε απόδοση κατά 4,5% μέχρι 8%, ενώ η βιολογική μεταχείριση χωρίς καμιά λίπανση είχε απόδοση σημαντικά μικρότερη της συμβατικής σε ποσοστό 15,6%.

Το μεταβλητό κόστος παραγωγής στις βιολογικές μεταχειρίσεις (0,46-0,47 €/κιλό) βρέθηκε σημαντικά χαμηλότερο από το αντίστοιχο της συμβατικής καλλιέργειας (0,49 €/κιλό).

Αναφορικά με το ακαθάριστο κέρδος, για ενιαία τιμή πώλησης του βαμβακιού, τα αποτελέσματα είναι ακόμη πιο θετικά. Η μεταχείριση με απομακρυνόμενο το βίκο έχει σημαντικά υψηλότερο ακαθάριστο κέρδος κατά 55,1% έναντι της συμβατικής, η μεταχείριση με ενσωματούμενο το βίκο κατά 11,4% υψηλότερο και η βιολογική μεταχείριση χωρίς λίπανση έχει σημαντικά μικρότερο ακαθάριστο κέρδος σε ποσοστό 6,6% σε σχέση με τη συμβατική καλλιέργεια.

Τα αποτελέσματα αυτά γίνονται ακόμη πιο θετικά για τη βιολογική καλλιέργεια, αν ληφθεί υπόψη αυξημένη τιμή πώλησης του βιολογικού βαμβακιού, κατά 22% περίπου, οπότε το ακαθάριστο κέρδος στη βιολογική καλλιέργεια γίνεται πολύ υψηλότερο ακόμα και στη μεταχείριση χωρίς λίπανση.

Στα παραπάνω οφέλη θα πρέπει να προστεθούν και αυτά από τη μη χρησιμοποίηση των αγροχημικών όπως: της προστασίας του περιβάλλοντος, της υγείας των ανθρώπων, της συμβολής στην ανάπτυξη της κτηνοτροφίας κλπ. για να προκύψουν τα συνολικά οφέλη της βιολογικής καλλιέργειας βαμβακιού.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Αυγουλάς Χ., Κούτρου Α. 1997. Βαμβάκι, στο Ανάπτυξη και Προοπτικές στον Αγροτικό Τομέα, Γ. Μέργος και Κ. Παπαγεωργίου (Επιμ.) , Εκδόσεις Σταμούλη Αθήνα, σελ85-117.

2. Beltrao N. Vieria R. Braga R**.** 1994. Future possibilities of organic cotton in Brazil, *ICAC*, September, pp.15-21.
3. Carter H. 1989. Agriculrural sustainability: an overview and research assessment, *California Agriculture*, Vol. 43, No 3, May-June.
4. Carter H. 1990. The three R's of agricultural sustainability: reality, redirection and restrains, In *Alternative Agriculture Science Review, Special Publication* No 16, Ames, Iowa., Council for Agricultural Sciences and Technology.
5. Γαλανοπούλου Σ., Γεωργούδης Α. , Καλμπουρτζή Κ., Κρυστάλλης Α., Λίγδα Χ., Μηλιάδου Ε., Παπαναγιώτου Ε., Φωτόπυλος Χ**.** 2001. Βιολογική Γεωργία: Στόχοι – Προοπτικές, *Πρακτικά ημερίδας Δικτύου Βιολογικής Γεωργίας*, Θεσσαλονίκη, 2 Φεβρουαρίου, σελ. 19-34.
6. Eyhorn F. 2006. Organic cotton farming contributes to poverty reduction, *Swiss Federal Institute of Technology*, Switzerland.
7. Eyhorn F., Mader P., Ramakrishnhan M. 2005. The impact of organic cotton farming on the livelihoods of smallholders, Research Report, *Research Institute of Organic Agriculture,* Switzerland.
8. Ferrigno S., Ratter S.,Ton P.,Vodouhe D.,Williamson S., Wilson J**.** 2005. Organic cotton: A new development path for African smallholders, *Internatiomal Insttute for Environment and Development*, Gatekeeperseries 120, London, U.K.
9. Ferrigno S. 2006. Organic cotton fiber report, Organic Exchange, Oakland, Spring.
10. Greenpeace 1992. Green Fields- Grey Future, EC Agricultural Policy at the Crossroads, Greenpeace, Amsterdam.
11. *ICAC Recorder* 2003. Limitations on Organic Cotton Production, March, 2003.
12. *ICAC Recorder 1998. Organic Cotton Production – IV, December 1998.*
13. *ICAC Recorder* 1996. World Organic Cotton Production, December 1996.
14. *ICAC* 1 994. Organic cotton growing, Washington D C May 27.
15. *ICAC Recorder* 1993. International Conference on Organic Cotton, December, 1993.
16. Kirby A. 2002. Organic farming "a realistic choice". *Science/Nature*, BBC News, May 2002 (http://news.bbc.co.uk/1/hi/sci/tech/2017094.stm).
17. Κιτσοπανίδης Γ. 2006. *Οικονομική Ζωικής Παραγωγής: Αρχές, Εφαρμογές, Τεχνικοοικονομική Ανάλυση,* Θεσσαλονίκη, Εκδόσεις ΖΗΤΗ.
18. Κιτσοπανίδης Γ. και Καμενίδης Χ**.** 2003. *Αγροτική Οικονομική*, Γ΄ Έκδοση,, Θεσσαλονίκη, Εκδόσεις ΖΗΤΗ.
19. Klosky K., Tourte L., Swezy S. 1996. Production practices and economic performance for organic cotton in the Northern San Joaquin Valley. *Proceedings of the Beltwide Cotton Conference,* National Cotton Council of America, Memphis, January 8-121996 (http://www.sarep.ucdavis.edu/NEWSLTR/v8n3/sa-13.htm).
20. Lampkin N. 1990. *Organic farming*, Farming Press, U.K.
21 .Lampkin N. 1994. «Organic farming: Sustainable Agriculture in practice», in: N Lampkin and S. Padel *(Eds*) ,*The economics of organic farming an international perspective,* Cab International.
22. Lampkin N. and Padel S. 1994. Organic Farming and Agricultural policy in western Europe: An overview, in: N. Lampkin and S. Padel *(Eds*) ,*The economics of organic farming an international perspective,* Cab International, pp. 437-456.
23. Mae-Wan Ho 2005. Br. Paul's organic cotton and vegetable farm. *Institute of Science in Society*, *Science society sustainability,* Press Release 4/11/05 (htpp://www.i.-sis.org.uk./BrPaulsOrganicFarm.php).
24. Mygdakos E.1982. *The development and use of a simulation model to study group farming systems for mechanical harvesting of cotton in Greece*, PhD Thesis, University of Reading, U.K.

25. Mygdakos E., Patsialis K. Voliotou F**.** 1998. Comparison between conventional and organic cotton growing in Greece: Economics of four year studies *Proceedings of the world cotton research conference -2: New frontiers in cotton research*, Athens, Greece, September 6 -12, pp.1137-1140.

26. Μυγδάκος Ε και Πατσιαλής Κ. 2001. Συμβατική και οικολογική καλλιέργεια βαμβακιού: Οικονομικά αποτελέσματα, *Πρακτικά ημερίδας Δικτύου Βιολογικής Γεωργίας,* Θεσσαλονίκη, 2 Φεβρουαρίου 2001, σελ.155-172.
27. Myers D. and Stolton S. 1999. *Organic Cotton: From Field to Final Product*, PAN, London, U.K. (http://www.pan-uk.org/Publications/Briefing/Cotton.htm).
28. Patronis V., Mavreas K., Sotiropoulos Y**.** 2004. New Food Consumption Patterns, New Cooperative Patterns and Entrepreneurship: The Case of the "Agri environmental Group of Western Greece", Paper presented at the Conference "*Vertical Markets and Cooperative Hierarchies: The Role of Cooperatives in the International Agri-Food Industry,* M.A.I.Ch., Chania, Greece, 3-7 September 2004.
29. Regulations No. 2092/91 και 2078/92, E.U.
30. Soth J. 2006. Summary of the organic cotton symposium of November, 30 in Lucerne, *Symposium zur Bio-Baumwolle* (http://www.bio-baumwolle.ch.).
31. Swezey S and Goldman P. 1996. Conversion of cotton production to certified organic management in the Northern San Joaquin Valley: Plant development, yield, quality and production costs, *Poceedings of the Beltwide Cotton Conferences,* National Cotton Council of America, P.O. Box 12285, Memphis, TN 38182, USA.
32. Σωτηρόπουλος Ι. και Ντεμούσης Μ. 2002. Η διατροφική κατανάλωση στην Ελλάδα την μεταπολεμική πεντηκονταετία 1950-1999. *Πρακτικά 7ου συνεδρίου της ΕΤΑΓΡΟ με θέμα « Η κοινωνία της υπαίθρου σε ένα μεταβαλλόμενο αγροτικό χώρο*», Αθήνα 21-23 Νοεμβρίου, σελ. 457- 469.
33. Σωτηρόπουλος Ι. και Πατρώνης Β. 2004. Επιχειρησιακό σχέδιο (Business plan) και χρηματοοικονομική διαχείριση της βιολογικής κτηνοτροφίας. *Διεθνές Συνέδριο με θέμα: «Προβλήματα και προοπτικές της βιολογικής αιγοπροβατοτροφίας*», Αγροπεριβαλλοντική Ομάδα Βιοκαλλιεργητών Δικτύου Δυτικής Ελλάδας, Αγρίνιο, σελ. 31-49.
34. Σωτηρόπουλος Ι, και Ντεμούσης Μ. 2004. Η διεθνοποίηση και βιομηχανοποίηση της ζήτησης και προσφοράς κτηνοτροφικών προϊόντων στην Ελλάδα. *Διεθνές Συνέδριο με θέμα: «Προβλήματα και προοπτικές της βιολογικής αιγοπροβατοτροφίας*», Αγροπεριβαλλοντική Ομάδα Βιοκαλλιεργητών Δικτύου Δυτικής Ελλάδας, Αγρίνιο, 185-200.
35. Φωτόπουλος χ., Παντζιος Χ., Τζουβελέκας Ε. 2001. Συγκριτικό κόστος παραγωγής επιλεγμένων βιοκαλλιεργειών στην Ελλάδα, *Πρακτικά ημερίδας Δικτύου Βιολογικής Γεωργίας,* Θεσσαλονίκη, 2 Φεβρουαρίου 2001, σελ.155-172..
36. Fotopoulos C. and Pantzios C. 1998. A comparative analysis of organic and conventional cotton production in Viotia – Greece. *Proceedings of the world cotton research conference -2: New frontiers in cotton research*, Athens, Greece, September 6 -12 1998, p. 1141-1147.

(107)

ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΑΠΟΔΟΣΗ ΚΑΙ ΤΟ ΚΟΣΤΟΣ ΣΥΓΚΟΜΙΔΗΣ ΜΙΑΣ ΒΑΜΒΑΚΟΣΥΛΛΕΚΤΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΗΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Ε. Γρ. Μυγδάκος
Πανεπιστημίου Ιωαννίνων, Τμήμα Διοίκησης Επιχειρήσεων Αγροτικών Προϊόντων και Τροφίμων, Σεφέρη 2, Αγρίνιο 30100, Τηλ 26410 39524, e-mail: emygdak@cc.uoi.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εργασία αυτή ερευνώνται οι παράγοντες που επηρεάζουν την έκταση βαμβακιού που εξυπηρετεί μια βαμβακοσυλλεκτική μηχανή και το κόστος συγκομιδής στη χώρα μας. Χρησιμοποιήθηκε γι' αυτό ένα μοντέλο προσομοίωσης και στοιχεία από τη Θεσσαλία. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι τη σημαντικότερη επίδραση ασκούν: οι βροχές, το εύρος της συλλεκτικής περιόδου, το επίπεδο υγρασίας του βαμβακιού, η αξιοπιστία της μηχανής, η επιδότηση και οι απώλειες χρόνου για μετακινήσεις της μηχανής.

FACTORS AFFECTING PICKER CAPACITY, AREA HARVESTED AND HARVESTING COST UNDER GREEK CONDITIONS

E. Gr. Mygdakos
University of Ioannina, Department of Agribusiness Management, Agrinio 30 100, Greece. email: emygdak@cc.uoi.gr

ABSTRACT

In this study an attempt has been made to determine the factors affecting the efficiency of a cotton picker and the harvesting cost, under Greek conditions. For that purpose, a given machine with certain specifications has been employed and a simulation model incorporating the relevant factors, stochastically, has been developed and used to simulate the harvesting process and calculate the cotton area and cost. The results obtained have shown that picker efficiency is primarily affected by precipitation, rainfall amount, harvesting period, crop moisture content, machine reliability, subsidy and time loss for moving from field to field.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα τελευταία χρόνια η διαχείριση αγροτικών μηχανημάτων έχει αποκτήσει ιδιαίτερο ενδιαφέρον, λόγω του υψηλού κόστους αγοράς και λειτουργίας τους αλλά και της σημαντικής απώλειας χρόνου και προϊόντος από τη μη σωστή χρήση τους, ιδιαίτερα των μηχανών υψηλής απόδοσης, βαμβακοσυλλεκτικών, τευτλοεξαγωγικών, θεριζο-αλωνιστικών κλπ. Οι ιδιοκτήτες και οι υποψήφιοι αγοραστές τέτοιων μηχανημάτων (συνεταιρισμοί, ομάδες παραγωγών κλπ.) πριν την αντικατάσταση ή αγορά των, θα πρέπει να απαντήσουν σε βασικά ερωτήματα, αναφορικά με τον τύπο του μηχανήματος, τη δυναμικότητα και αποδοτικότητά του, την τιμή αγοράς του, στους τεχνικούς και εδαφοκλιματικούς παράγοντες της χώρας κλπ., ώστε να έχουν το καλύτερο οικονομικό αποτέλεσμα [1]. Οι απαντήσεις και οι σχετικές αποφάσεις πρέπει να παρθούν μέσα σε ένα αβέβαιο περιβάλλον όπου διάφοροι παράγοντες μπορούν να προκαλέσουν σημαντικές απώλειες των προϊόντων (ποσοτικές και ποιοτικές), να αυξήσουν το κόστος συλλογής των και να επηρεάσουν αρνητικά τα αποτελέσματα. Είναι συνεπώς ανάγκη να βρεθεί μια διαδικασία που θα βοηθήσει όλους αυτούς στη λήψη των αποφάσεών τους για αριστοποίηση του αποτελέσματος.

Η τεχνική της προσομοίωσης (simulation technique), που εφαρμόστηκε αρχικά σε διαστημικά προγράμματα, θεωρείται η καταλληλότερη και ευρύτατα χρησιμοποιούμενη για την επίλυση πολύπλοκων προβλημάτων στα οποία εμπλέκονται πολλοί παράγοντες, ιδιαίτερα στοχαστικοί, κάτω από συνθήκες κινδύνου και αβεβαιότητας [2,3,4,1,5]. Σύμφωνα με τον Καθηγητή Shannon [6], η τεχνική της προσομοίωσης είναι μια δυναμική μέθοδος που δίνει τη δυνατότητα πειραματισμού και μελέτης πολύπλοκων συστημάτων, τα οποία δεν είναι δυνατόν να ερευνηθούν διαφορετικά. Ο ίδιος Καθηγητής δίνει έναν ορισμό της προσομοίωσης λέγοντας ότι:

«Προσομοίωση είναι η διαδικασία (μεθοδολογία) σχεδιασμού ενός μοντέλου ενός πραγματικού συστήματος και η διεξαγωγή πειραμάτων με τη βοήθεια αυτού είτε για την κατανόηση της συμπεριφοράς του συστήματος είτε για την εκτίμηση διαφόρων τεχνικών λειτουργίας του συστήματος».

Η μέθοδος της προσομοίωσης είναι ιδιαίτερα χρήσιμη και εφαρμόσιμη για θέματα γεωργικού προγραμματισμού και διαχείρισης γεωργικών μηχανημάτων [7, 8, 9, 10, 11, 12, 13]. Πολλοί ερευνητές χρησιμοποίησαν την τεχνική της προσομοίωσης για τη μελέτη θεμάτων σχετικών με την επιλογή γεωργικών μηχανημάτων σε διάφορες χώρες του κόσμου και για διάφορες καλλιέργειες, όπως: βαμβάκι, αραβόσιτο, πατάτες, τεύτλα, κλπ. [14,15,16,7,8,9,10,1,11,17,12,13].

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η ανάπτυξη ενός μοντέλου προσομοίωσης για τη μελέτη της συγκομιδής βαμβακιού στη Θεσσαλία και τον προσδιορισμό των παραγόντων οι οποίοι μεταβάλλονται στοχαστικά και επηρεάζουν την απόδοση της βαμβακοσυλλεκτικής μηχανής, την εξυπηρετούμενη έκταση βαμβακιού και το κόστος συλλογής, κάτω από τις συνθήκες της περιοχής και τις εξής προϋποθέσεις:

1. Διάρκεια συλλεκτικής περιόδου 52 ημερών, δηλαδή, 25 Σεπτεμβρίου (συνηθέστερη ημερομηνία έναρξης της συγκομιδής) με 15 Νοεμβρίου (έναρξη σποράς σιτηρών).

2. Έναρξη συλλογής το πρωί όταν η περιεχόμενη υγρασία του βαμβακιού πέφτει στο 10% και λήξει το βράδυ όταν η υγρασία ανεβαίνει στο ίδιο επίπεδο, δεδομένου ότι με υψηλότερη υγρασία υποβαθμίζεται η ποιότητα του αποθηκευμένου προϊόντος.

3. Αριθμός αγροτεμαχίων και συγκομιζόμενη έκταση αυξάνουν προοδευτικά αρχίζοντας από τα 10 τεμάχια ή 270 στρέμματα έως τα 50 τεμάχια ή 1100 στρέμματα, διαφορετικής έκτασης και απόστασης μεταξύ τους, στοχαστικά προσδιοριζόμενης σύμφωνα με τα δεδομένα της περιοχής.

4. Συλλογή βαμβακιού δυο φορές σε κάθε χωράφι, εκτός εάν η εναπομένουσα παραγωγή από την πρώτη συγκομιδή είναι μικρότερη από 17 κιλά το στρέμμα οπότε δεν είναι συμφέρουσα η δεύτερη συγκομιδή.

2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

2.1. Περιγραφή του συστήματος

Το μελετώμενο σύστημα συγκομιδής του βαμβακιού μπορεί να θεωρηθεί ότι αποτελείται από τέσσερα υποσυστήματα τα οποία είναι:1) Η μηχανή, 2) Τα χωράφια βαμβακιού γύρω από το χωριό, 3) Οι καιρικές συνθήκες (βροχή, ύψος βροχής) και 4) Η συγκομιζόμενη έκταση, η παραγωγή και το κόστος συγκομιδής του βαμβακιού.

α) Το πρώτο υποσύστημα περιλαμβάνει μια μηχανή 155 ίππων, δύο σειρών, με χωρητικότητα καλαθιού 1500 κιλά βαμβακιού. Από τη διαδικασία της συγκομιδής μόνο η κίνηση της μηχανής πάνω στις γραμμές με κάποια ταχύτητα συγκομίζοντας βαμβάκι, θεωρείται παραγωγική, ενώ όλες οι άλλες όπως: οι στροφές της μηχανής, οι μετακινήσεις της μηχανής για άδειασμα του καλαθιού, το καθάρισμα, οι ρυθμίσεις κλπ., αν και απαραίτητες, θεωρούνται μη παραγωγικές. Είναι συνεπώς φανερό ότι η σωστή διαχείριση της όλης διαδικασίας της συγκομιδής μπορεί να έχει σημαντικές επιπτώσεις στην απόδοση της μηχανής, στην έκταση και παραγωγή βαμβακιού και στο κόστος συγκομιδής.

β) Τα αγροτεμάχια βαμβακιού αποτελούν το δεύτερο υποσύστημα και όπως αναφέρθηκε συγκομίζονται δύο φορές. Η πρώτη συγκομιδή αρχίζει όταν το ποσοστό ανοιγμένων καρυδιών φτάνει στο 70% με 80% και η δεύτερη στο 100%.

γ) Οι καιρικές συνθήκες, το τρίτο υποσύστημα, παίζουν σημαντικό ρόλο κατά τη συγκομιδή. Η βροχή και το ύψος βροχής εμποδίζουν τη συλλογή για διάστημα ανάλογο των χιλιοστών βροχής. Έτσι μέσα στις 52 ημέρες της περιόδου συγκομιδής οι κατάλληλες ημέρες για εργασία περιορίζονται ανάλογα με τις βροχοπτώσεις, επηρεάζοντας σημαντικά την απόδοση της μηχανής. Πλέον αυτού η υγρασία πάνω στα φυτά προκαλεί «μπουκώματα» και καθυστερήσεις, ενώ το υγρό έδαφος συντελεί στην ολίσθηση των τροχών, στην απώλεια συγχρονισμού με το συλλεκτικό και στην απώλεια πράσινων καρυδών, δηλαδή απώλεια παραγωγής [18].

δ) Το τέταρτο υποσύστημα του μοντέλου αφορά στην ημερησίως συγκομιζόμενη έκταση και παραγωγή, στην εναπομένουσα έκταση, καθώς και στην ετησίως συγκομιζόμενη έκταση και παραγωγή και στο αντίστοιχο κόστος συγκομιδής. Τα τελευταία αυτά στοιχεία αποτελούν τα τελικά αποτελέσματα του μοντέλου για κάθε έτος και για μια σειρά ετών. Με τη βοήθεια του μοντέλου αυτού και την ανάλυση της ευαισθησίας μπορούμε να διαπιστώσουμε την επίδραση κάθε μεταβλητής πάνω στη συγκομιζόμενη έκταση, στην ποσότητα του προϊόντος, στο κόστος συγκομιδής κλπ. στοιχεία χρήσιμα και σημαντικά της έρευνας.

2.2. Στοιχεία του μοντέλου

2.2.1 Κατασκευή του μοντέλου

Με τη βοήθεια του μοντέλου συγκομιδής είναι δυνατός ο προσδιορισμός της συγκομιζόμενης έκτασης, η διερεύνηση εναλλακτικών στρατηγικών και πολιτικών, καθώς και η εκτίμηση των επιπτώσεων των μεταβολών διαφόρων μεταβλητών, με βάση το κόστος συλλογής, για διαφορετικές συνθήκες κάθε φορά [19]. Έχοντας ορίσει τα όρια του συστήματος και τους αντικειμενικούς στόχους του, το επόμενο βήμα είναι η κατασκευή του μοντέλου. Συμβολικά το μοντέλο μπορεί να παρουσιαστεί με την παρακάτω εξίσωση:

$$Cmin = f(X, Y) \quad (1)$$

όπου:

Cmin = ελαχιστοποίηση του κόστους συλλογής μιας στρατηγικής – πολιτικής, X = ελεγχόμενες μεταβλητές, Y = μη ελεγχόμενες μεταβλητές, f = σχέση μεταξύ των μεταβλητών X και Y και της μεταβλητής Cmin (κόστος συγκομιδής).

Η ελαχιστοποίηση του κόστους συγκομιδής προϋποθέτει ότι $X \geq 0$ και $Y \geq 0$ [20].

2.2.2 Υποσύστημα της βαμβακοσυλλεκτικής μηχανής

Η απόδοση μιας μηχανής εξαρτάται από τις προδιαγραφές της όπως: ιπποδύναμη, πλάτος συγκομιδής κλπ. Επηρεάζεται όμως και από άλλους παράγοντες που είναι: το εύρος της περιόδου συγκομιδής, οι κατάλληλες ημέρες για εργασία, η διάρκεια της ημέρας, οι μετακινήσεις μεταξύ των χωραφιών, ο χρόνος εκφόρτωσης του καλαθιού, ο χρόνος για τις στροφές, ο χρόνος για τις επισκευές λόγω βλαβών κλπ.

Το μήκος της ημέρας μειούμενο προοδευτικά συμπεριελήφθη στο μοντέλο προσδιοριστικά. Πολλές άλλες μεταβλητές συμπεριελήφθησαν στοχαστικά, όπως: Οι βροχές και το ύψος βροχής, οι μετακινήσεις της μηχανής από χωράφι σε χωράφι, οι βλάβες και οι απώλειας χρόνου για επισκευές, ο χρόνος αδειάσματος του καλαθιού, ο χρόνος για τις στροφές, ο χρόνος καθαρισμού καθώς και η ταχύτητα συγκομιδής, η οποία εξαρτάται κυρίως από την παραγωγή. Όλες οι παραπάνω μεταβλητές προσδιορίστηκαν από πραγματικά στοιχεία παρατηρήσεων της περιοχής και συμπεριελήφθησαν στο μοντέλο, σύμφωνα με τις ευρεθείσες συναρτήσεις [21].

2.2.3 Υποσύστημα προϊόντος βαμβακιού

Όπως είναι γνωστό, αμέσως μετά το άνοιγμα των καρυδιών αρχίζουν οι απώλειες της παραγωγής και η υποβάθμιση της ποιότητας του προϊόντος από διάφορες αιτίες [22,23,24]. Οι απώλειες της παραγωγής μελετήθηκαν από πολλούς ερευνητές και διαπιστώθηκε ότι κυμαίνονται από 0,3 % μέχρι 0,64% ανά ημέρα καθυστέρησης της συγκομιδής, ενώ οι δείκτες υποβάθμισης της ποιότητας προσδιορίστηκαν σε 0,028 βαθμούς ανά ημέρα για τις έξη πρώτες εβδομάδες από το άνοιγμα των καρυδιών και σε 0,187 βαθμούς ανά ημέρα το υπόλοιπο διάστημα.

2.2.4 Υποσύστημα καιρικών συνθηκών

Οι καιρικές συνθήκες και κυρίως οι βροχοπτώσεις και η υγρασία είναι οι βασικότεροι παράγοντες που επηρεάζουν δυσμενώς την παραγωγή και ποιότητα του βαμβακιού. Επηρεάζουν όμως ακόμη περισσότερο τον αριθμό των κατάλληλων ημερών και ωρών για εργασία κατά τη συλλεκτική περίοδο, καθώς και την απόδοση της μηχανής. Λόγω των δυσκολιών αυτών και των προβλημάτων, το θέμα της συγκομιδής αγροτικών προϊόντων έχει ερευνηθεί διεξοδικά από πολλούς ερευνητές αναφορικά με την επιλογή μηχανημάτων με βάση τις κλιματικές συνθήκες συγκεκριμένων περιοχών [25,26,27,28,29,30,31,32,14,15,16].

Οι καιρικές συνθήκες (βροχοπτώσεις και ύψος βροχής), μπορούν να περιληφθούν σε ένα μοντέλο προσομοίωσης είτε αυτούσια ως ιστορικά στοιχεία, [30,33], είτε στοχαστικά, όπως προτείνει ο Καθηγητής Shannon [6]. Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε ένα απλό μοντέλο προσομοίωσης (Markov Chain probability model), που αναπαρήγαγε συχνότητα βροχοπτώσεων και ύψος βροχής βασισμένο στα ιστορικά στοιχεία της περιοχής. Ανάλογα μοντέλα χρησιμοποιήθηκαν και από άλλους ερευνητές [34,7,35].

2.2.5 Υποσύστημα του κόστους συγκομιδής

Οι δαπάνες συγκομιδής βαμβακιού αφορούν δύο μεγάλες κατηγορίες: Πρώτον, τις δαπάνες ή το κόστος της μηχανής (machine cost), που διακρίνεται σε σταθερό κόστος ή σταθερές δαπάνες και σε μεταβλητό κόστος ή μεταβλητές δαπάνες. .Δεύτερον, το κόστος που σχετίζεται με τις απώλειες (ποσοτικές και ποιοτικές) του προϊόντος (crop loss or timeliness cost, quality loss cost and penalty cost), που προκύπτουν λόγω καθυστέρησης της συγκομιδής του βαμβακιού ή αδυναμίας της μηχανής να φέρει σε πέρας το προγραμματισμένο έργο στο συγκεκριμένο χρονικό διάστημα [36,5].

Τα παραπάνω στοιχεία κόστους αποδιδόμενα με τις αντίστοιχες μερικές εξισώσεις, μπορούν να αποδοθούν συνολικά με την παρακάτω εξίσωση (2) [5,37,38,39,40].

$$THCOST=FMCOST+VRMCST+CTYLOS \quad (2)$$

όπου:

THCOST = συνολικό κόστος συγκομιδής, *FMCOST* = σταθερό κόστος της μηχανής, *VRMCST* = μεταβλητό κόστος της μηχανής, *CTYLOS* = συνολικό κόστος απωλειών παραγωγής σε όλη την περίοδο συγκομιδής (ποσοτική απώλεια, ποιοτική απώλεια και πέναλτι)

Από την παραπάνω εξίσωση μπορεί να υπολογιστεί το μέσο κόστος ανά κιλό βαμβακιού με την παρακάτω εξίσωση (3)

$$CSTPKG=THCOST/TCN \quad (3)$$

όπου:

CSTPKG = μέσο κόστος συγκομιδής ανά κιλό βαμβακιού, *TCN*= συνολική συγκομισθείσα παραγωγή.

Τελικά το μέσο κόστος ανά κιλό βαμβακιού για μια σειρά ετών προσομοίωσης μπορεί να υπολογιστεί από την εξίσωση (4)

$$AMTCST = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{j=n} CSTPKG_{ij} \quad (4)$$

όπου:

AMTCST =μέσο κόστος ανά κιλό βαμβακιού για μια σειρά ετών προσομοίωσης, n = αριθμός ετών προσομοίωσης, $CSTRKG_{IJ}$ = μέσο κόστος του ith έτους και της jth έκτασης βαμβακιού.

Το μοντέλο (πρόγραμμα) ξεκινάει την προσομοίωση διαβάζοντας πρώτα τα αρχικά δεδομένα και στη συνέχεια εισέρχεται στο κυρίως αντικείμενο της συγκομιδής από τις 25 Σεπτεμβρίου μέχρι τις 15 Νοεμβρίου, παρουσιάζοντας ανά 6 λεπτά της ώρας την επικρατούσα κατάσταση και στο τέλος της περιόδου τα ετήσια στοιχεία αναφορικά με τη συγκομισθείσα έκταση, το κόστος συγκομιδής κλπ. και τα ίδια στοιχεία προσομοίωσης ως μέσους όρους στο τέλος της εικοσαετίας.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Το παραπάνω μοντέλο προσομοίωσης αξιολογήθηκε με τα κατάλληλα τεστ, χ^2 και το Kolmogorov-Smirnof τεστ, τα οποία έδειξαν τη σωστή κατασκευή και λογική του [19,41,6]. Έγινε, επίσης, ανάλυση της ευαισθησίας του και έδειξε ότι ανταποκρίνεται σωστά [2,6]. Στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκε για την εκτίμηση διαφόρων στρατηγικών αναφορικά με τη συγκομιδή βαμβακιού. Οι διαφορετικές περιπτώσεις που μελετήθηκαν με τη βοήθεια του μοντέλου ήταν:

1. Αξιοποίηση ολόκληρης της περιόδου συγκομιδής, 52 ημέρες, υποθέτοντας ότι δεν θα υπάρξουν βροχές και εναλλακτικά η περίπτωση περιορισμένου αριθμού ημερών λόγω βροχών, όπως προέκυψαν από τα στοιχεία της περιοχής.
2. Πολλά χωράφια (από 10 έως 50) διαφορετικών εκτάσεων, διάσπαρτα γύρω από το χωριό και αντίστοιχα ένα χωράφι αυξανόμενης έκτασης.
3. Διαφορετικό εύρος συλλεκτικής περιόδου, ήτοι 52 ημέρες αρχικά και εναλλακτικά 57 ημέρες.
4. Μια μηχανή με τις συνήθεις βλάβες, όπως προέκυψαν από τα στοιχεία έρευνας των μηχανών της περιοχής και εναλλακτικά μια αξιόπιστη μηχανή χωρίς βλάβες.
5. Έναρξη και λήξη της συγκομιδής όταν το επίπεδο της περιεχόμενης υγρασίας του βαμβακιού είναι στο 10% και εναλλακτικά για επίπεδο περιεχόμενης υγρασίας 12%.
6. Αγορά μηχανής χωρίς επιδότηση και εναλλακτικά με επιδότηση 50% της αξίας αγοράς.

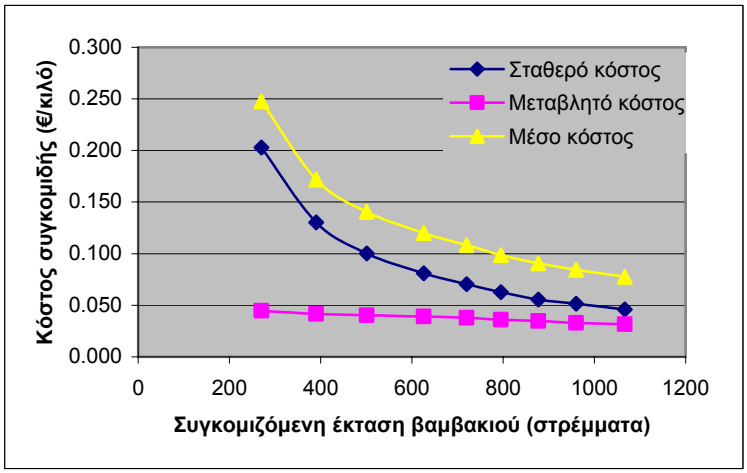
Για διευκόλυνση της σύγκρισης του κόστους συγκομιδής για διάφορα επίπεδα έκτασης, υπενθυμίζεται ότι οι απώλειες από τη μη έγκαιρη συγκομιδή, την επίδραση των καιρικών συνθηκών κλπ θεωρούνται ως πρόσθετο κόστος αποδιδόμενο στην αδυναμία της μηχανής και στο επίπεδο της συγκομιζόμενης έκτασης βαμβακιού. Με το σκεπτικό αυτό οι διαφοροποιήσεις της προσόδου εκλείπουν και αυτή γίνεται σταθερή για κάθε επίπεδο συγκομιζόμενης έκτασης, ενώ η καμπύλη της μέσης προσόδου, η οποία ισούται με την οριακή πρόσοδο παίρνει τη μορφή ευθείας γραμμής. Θεωρώντας τη μέση πρόσοδο ανά μονάδα έκτασης ως σταθερή, μπορεί να αγνοηθεί τελείως και να εστιαστεί η σύγκριση των μελετώμενων περιπτώσεων μόνο με το κόστος συγκομιδής για τα διαδοχικά επίπεδα συγκομιζόμενης έκτασης [26,42]. Λόγω της στοχαστικής φύσης ενός μεγάλου αριθμού μεταβλητών του μοντέλου το κόστους συγκομιδής για κάθε επίπεδο συγκομιζόμενης έκτασης διαφοροποιείται από έτος σε έτος. Συνεπώς η σύγκριση των διαφόρων περιπτώσεων γίνεται με βάση την καμπύλη του μέσου κόστους της εικοσαετίας. ώστε να υπάρχουν αξιόπιστα στοιχεία.

3.1 Επίδραση των καιρικών συνθηκών (βροχής)

Μεταξύ των παραγόντων που επηρεάζουν τη συγκομιδή βαμβακιού, οι βροχές θεωρούνται ο πιο σημαντικός, διότι, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, αυξάνουν τις απώλειες (ποσοτικές και ποιοτικές) της παραγωγής και περιορίζουν τον αριθμό των ημερών και ωρών κατάλληλων για συγκομιδή.

Για τον προσδιορισμό των συνεπειών της βροχής πάνω στη συγκομιζόμενη έκταση και στο κόστος συλλογής χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα, το οποίο έτρεξε για μια εικοσαετία, υποθέτοντας αρχικά παντελή έλλειψη βροχών στις 52 ημέρες και μη ύπαρξη απωλειών του προϊόντος. Άλλες προϋποθέσεις που τέθηκαν ήταν: Το επίπεδο της περιεχόμενης υγρασίας για έναρξη και λήξη της συγκομιδής 10%, αυξανόμενη έκταση βαμβακιού και αριθμού χωραφιών και μια μηχανή της οποίας η αξιοπιστία προέκυψε από τα στοιχεία έρευνας της περιοχής. Στο παραπάνω γράφημα 1 φαίνονται τα αποτελέσματα του μοντέλου με τις τεθείσες προϋποθέσεις

Το γράφημα 1, δείχνει ότι με τις προϋποθέσεις αυτές η μηχανή συγκομίζει περισσότερα από 1100 στρέμματα ετησίως και έχει μέσο κόστος συλλογής ανά κιλό προϊόντος συνεχώς χαμηλότερο, λόγω του επιμερισμού των σταθερών δαπανών σε όλο και περισσότερα στρέμματα βαμβακιού.

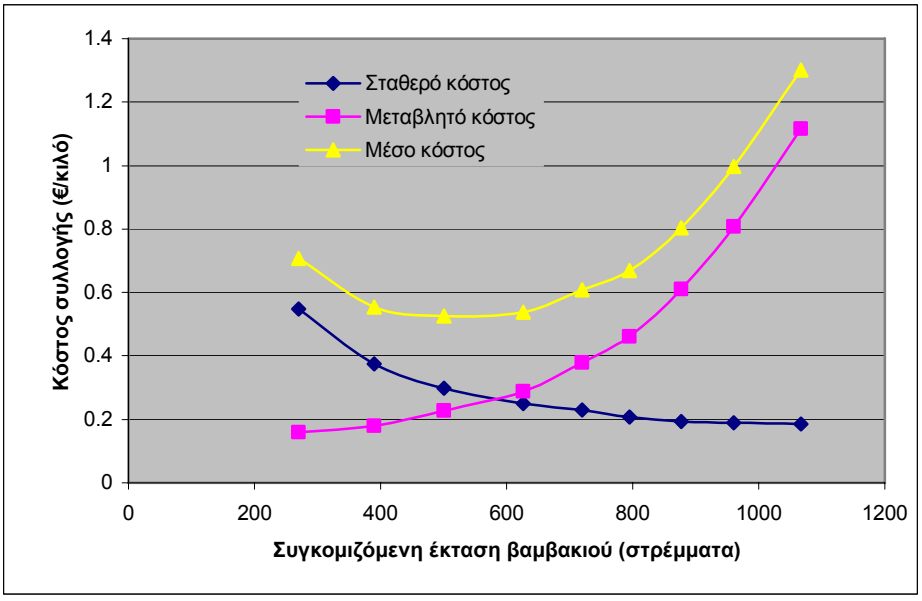


Γράφημα 1. Εξέλιξη του κόστους συγκομιδής βαμβακιού σε συνάρτηση της συγκομιζόμενης έκτασης (Υποθέσεις: όχι βροχές, όχι απώλειες προϊόντος).

Αν ληφθούν υπόψη οι βροχές και το ύψος βροχής στην περιοχή κατά τη συλλεκτική περίοδο, καθώς και οι απώλειες ποιότητας και ποσότητας του προϊόντος και το πέναλτι (penalty cost) για την ασυγκόμιστη έκταση μετά τη λήξη της περιόδου συγκομιδής, τότε η κατάσταση διαφοροποιείται σημαντικά.

Τα στοιχεία της βροχής που χρησιμοποιήθηκαν στο μοντέλο προέκυψαν από πραγματικά στοιχεία της περιοχής μιας εικοσαετίας, τα οποία με τη βοήθεια ενός μοντέλου προσομοίωσης αναλύθηκαν και στη συνέχεια αναπαράχθηκαν στοχαστικά νέα στοιχεία μιας εικοσαετίας. Με βάση τα στοχαστικά στοιχεία των βροχών, του ύψους των βροχών και τις παραπάνω προϋποθέσεις, το μοντέλο έτρεξε για 20 χρόνια και ελήφθησαν τα αποτελέσματα που φαίνονται στο παραπάνω γράφημα.

Από το γράφημα 2 διαπιστώνεται ότι η καμπύλη του σταθερού κόστους ακολουθεί παρόμοια πορεία όπως και στο προηγούμενο γράφημα φθίνοντας συνεχώς. Αντίθετα η καμπύλη του μεταβλητού κόστους, λόγω των απωλειών και ιδιαίτερα του penalty cost, παρουσιάζει ανοδική πορεία από την αρχή φτάνοντας σε πολύ υψηλά επίπεδα αυξανόμενης της έκτασης. Η καμπύλη του μέσου κόστους, τέλος, αρχικά φθίνει μέχρι τα 500 στρέμματα, λόγω της ταχύτερης μείωσης του σταθερού κόστους σε σχέση με την άνοδο του μεταβλητού και μετά ανέρχεται απότομα επηρεαζόμενη από τη μεγάλη αύξηση του μεταβλητού κόστους. Με τις παραπάνω προϋποθέσεις η μηχανή μπορεί να εξυπηρετήσει τώρα μια έκταση 500 στρεμμάτων με το ελάχιστο μέσο κόστος 0,52 €/κιλό. Πέρα από την έκταση αυτή το κόστος ανεβαίνει προοδευτικά σε υψηλό επίπεδο δείχνοντας πόσο σημαντική είναι επίδραση των βροχοπτώσεων τόσο στην έκταση βαμβακιού που περιορίζεται στα 500 στρέμματα από τα 1100, μια μείωση κατά 120%, όσο και στο ελάχιστο κόστος συγκομιδής, το οποίο από τα 0,27 €/κιλό στην προηγούμενη περίπτωση ανεβαίνει στα 0,52 €/κιλό, δηλαδή αυξάνει κατά 92,6%.



Γράφημα 2. Εξέλιξη του κόστους συλλογής βαμβακιού σε συνάρτηση της συγκομιζόμενης έκτασης βαμβακιού (Υποθέσεις: βροχές και απώλειες)

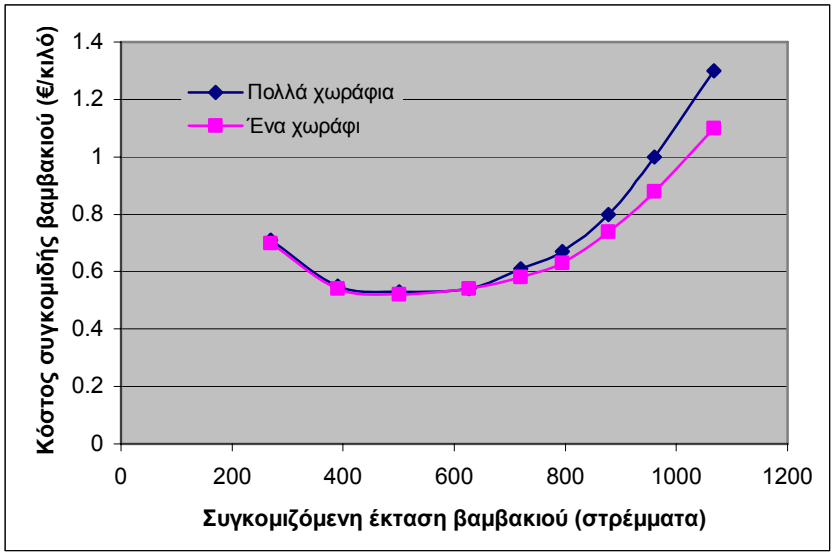
3. 2. Επίδραση του χρόνου απωλειών από τις μετακινήσεις της μηχανής

Για να εκτιμηθεί η επίδραση της απώλειας χρόνου από τις μετακινήσεις της μηχανής μεταξύ των χωραφιών, το πρόγραμμα έτρεξε ξανά με τις εξής δύο υποθέσεις: Αρχικά με

πολλά χωράφια (από 10 μέχρι 50 τεμάχια), διάσπαρτα και στη συνέχεια με ένα μόνο χωράφι αυξανόμενης έκτασης. Οι άλλες υποθέσεις παρέμειναν ίδιες. Όπως φαίνεται στο γράφημα 3 οι δύο καμπύλες ταυτίζονται μέχρι την έκταση των 500 στρεμμάτων, που είναι το ελάχιστο κόστος συγκομιδής, καθώς και μέχρι τα 600 στρέμματα. Πέρα από εκεί η καμπύλη που αντιστοιχεί σε πολλά τεμάχια κινείται υψηλότερα αυτής του ενός αγροτεμαχίου. Αυτό οφείλεται στην απώλεια χρόνου από τις μετακινήσεις της μηχανής μεταξύ των χωραφιών με αποτέλεσμα να εργάζεται λιγότερες ώρες, να συγκομίζει λιγότερη παραγωγή και να έχει υψηλότερο κόστος συγκομιδής για έκταση μεγαλύτερη των 600 στρεμμάτων.

3.3 Επίδραση του εύρους της συλλεκτικής περιόδου

Η επίδραση του εύρους της συλλεκτικής περιόδου, 52 ημερών και 57 ημερών φαίνεται στο γράφημα 4. Το πρώτο συμπέρασμα που προκύπτει από το γράφημα αυτό είναι ότι, για περιόδου 52 ημερών το ελάχιστο κόστος αντιστοιχεί στα 500 στρέμματα. Για περιόδου 57 ημερών, ήτοι, έναρξη της συγκομιδής 5 ημέρες νωρίτερα, η έκταση με το ελάχιστο κόστος ανέρχεται στα 650 στρέμματα, μια αύξηση κατά 25%. Το δεύτερο συμπέρασμα είναι ότι το ελάχιστο κόστος συγκομιδής για 52 ημέρες είναι 0,55 €/κιλό, ενώ για 57 ημέρες κατεβαίνει στα 0,40 €/κιλό, δηλαδή μειώνεται κατά 27%. Η διαφορά γίνεται πολύ μεγαλύτερη για μεγαλύτερες εκτάσεις, καθώς μειώνεται σημαντικά το πέναλτι (penalty cost), αφού υπάρχει περισσότερος χρόνος για συγκομιδή μεγαλύτερης παραγωγής, με συνέπεια τη μείωση του κόστους συγκομιδής.

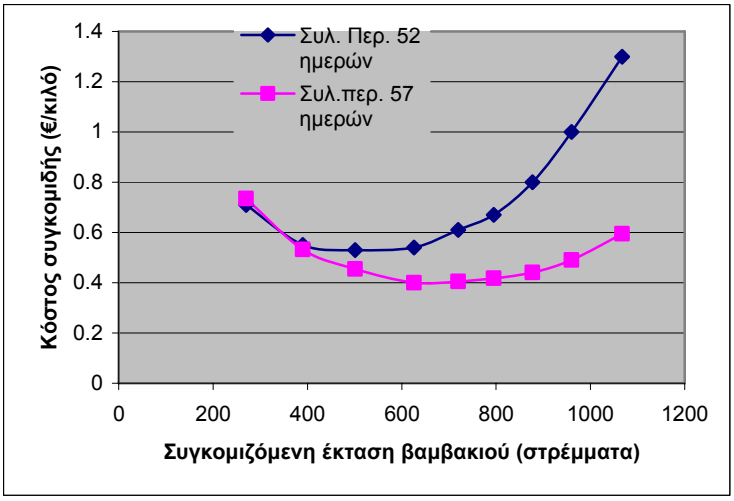


Γράφημα 3. Επίδραση της απώλειας χρόνου για μετακινήσεις της μηχανής από χωράφι σε χωράφι (Υποθέσεις: Πολλά χωράφια, ένα χωράφι).

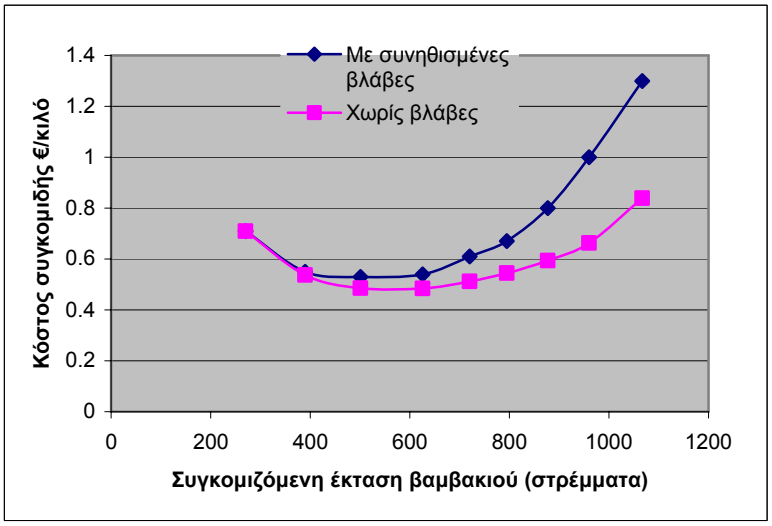
3. 4. Επίδραση της αξιοπιστίας της βαμβακοσυλλεκτικής μηχανής

Σχετικά με την επίδραση της αξιοπιστίας της μηχανής στην έκταση και στο κόστος ερευνήθηκαν οι εξής δύο περιπτώσεις: Μια μηχανή με τις συνηθισμένες βλάβες, όπως βρέθηκαν από την έρευνα και μια χωρίς βλάβες. Όπως φαίνεται από το γράφημα 5, η καμπύλη με τις συνηθισμένες βλάβες έχει ελάχιστο κόστος συγκομιδής 0,53 €/κιλό στην έκταση των 500 στρεμμάτων. Πέρα από τη έκταση αυτή η κλίση της γίνεται απότομη λόγω των απωλειών της παραγωγής. Η καμπύλη που αντιστοιχεί στη μηχανή χωρίς

βλάβες έχει ελάχιστο κόστος συγκομιδής 0,50 €/κιλό, δηλαδή, μια μείωση κατά 6%.σε σχέση με πριν, για επίπεδο έκτασης βαμβακιού 550 στρεμμάτων. Αυτό σημαίνει ότι μία μηχανή με υψηλό βαθμό αξιοπιστίας συγκομίζει την ίδια περίοδο 50 στρέμματα περισσότερα, δηλαδή μια έκταση κατά 10% μεγαλύτερη [21].



Γράφημα 4. Επίδραση του εύρους της συλλεκτικής περιόδου (Υποθέσεις: Συλλεκτική περίοδος 52 ημερών, συλλεκτική περίοδος 57 ημερών)



Γράφημα 5. Επίδραση της αξιοπιστίας της μηχανής (Υποθέσεις: Συνηθισμένες βλάβες μηχανής, καμία βλάβη της μηχανής)

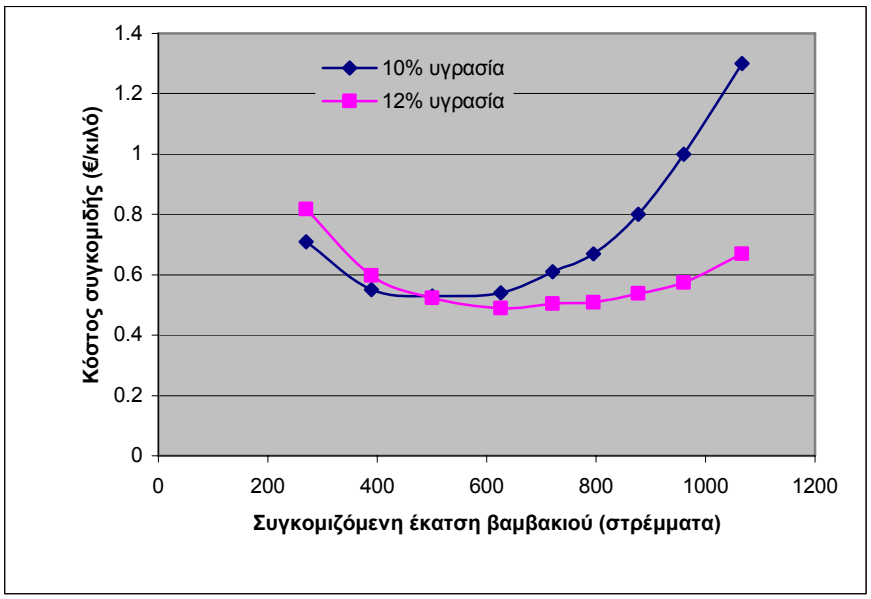
3. 5. Επίδραση της περιεχόμενης υγρασίας του βαμβακιού

Για να διαπιστωθεί η επίδρασης της περιεχόμενης υγρασίας του βαμβακιού για την έναρξη και λήξη της συγκομιδής έτρεξε το μοντέλο με τις εξής δύο υποθέσεις:

Αρχικά με βάση την υγρασία 10% και εναλλακτικά με υγρασία 12%. Στη δεύτερη περίπτωση η συγκομιδή αρχίζει ενωρίτερα το πρωί και τελειώνει αργότερα το βράδυ, δηλαδή, διαρκεί περισσότερες ώρες ημερησίως. Τα αποτελέσματα των δύο περιπτώσεων φαίνονται στο παρακάτω γράφημα. Από το γράφημα 6 προκύπτει ότι σε μικρές

εκτάσεις, μέχρι 500 στρέμματα, η καμπύλη του μέσου κόστους για υγρασία 12% βρίσκεται υψηλότερα τις αντίστοιχης καμπύλης για επίπεδο υγρασίας 10%.

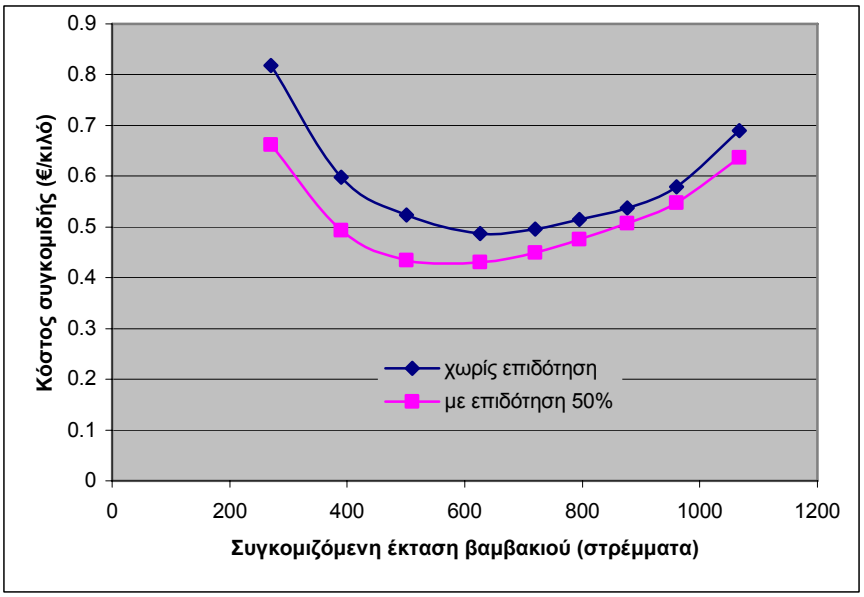
Η εξήγηση είναι ότι με τις περισσότερες ώρες καθημερινής λειτουργίας της μηχανής, η δεύτερη συγκομιδή στις μικρές εκτάσεις, γίνεται ενωρίτερα από ότι στην περίπτωση με υγρασία 10% και δεν προλαβαίνουν να ανοίξουν όλα τα καρύδια ώστε να συγκομιστεί ολόκληρη η παραγωγή, όπως στην περίπτωση υγρασίας 10%. Έτσι, η συγκομιζόμενη έκταση είναι ίδια, η παραγωγή, όμως, είναι λιγότερη με συνέπεια το υψηλότερο κόστος. Πέρα από την έκταση των 500 στρεμμάτων, που αντιστοιχεί και στο ελάχιστο κόστος συγκομιδής για υγρασία 10%, η καμπύλη υγρασίας 12% βρίσκεται χαμηλότερα αυτής για υγρασία 10% και συνεχίζει σχεδόν οριζόντια, με ελάχιστο κόστος στα 650 στρέμματα. Αυτό συμβαίνει διότι το πέναλτι (penalty cost) για υγρασία 12% είναι ελάχιστο. Η έναρξη και λήξη της συγκομιδής με βάση το 12% της υγρασίας, αυξάνει τη συγκομιζόμενη έκταση κατά 150 στρέμματα ή ποσοστό 25% και μειώνει το κόστος συγκομιδής κατά 0,05 € /κιλό ή ποσοστό 10,4%.



Γράφημα 6. Επίδραση της περιεχόμενης υγρασίας του βαμβακιού (Υποθέσεις: Περιεχόμενη υγρασία 10%, περιεχόμενη υγρασία 12%).

3. 6. Επίδραση της επιδότησης της μηχανής

Οι παραπάνω υπολογισμοί έγιναν με βάση ολόκληρη την αξία αγοράς της μηχανής που είναι 130.000 €. Αν ληφθεί υπόψη μια επιδότηση 50% της αξίας της, τα πράγματα αλλάζουν. Με το σκεπτικό αυτό έτρεξε πάλι το πρόγραμμα με τις εξής δύο υποθέσεις: Πρώτα με ολόκληρη την αξία της μηχανής και μετά με επιδότηση 50%. Όπως φαίνεται στο γράφημα 7, η καμπύλη του κόστους με επιδότηση είναι χαμηλότερα αυτής χωρίς επιδότηση. Αυτό συμβαίνει διότι μειώθηκαν οι συνολικές δαπάνες, λόγω μείωσης της απόσβεσης και του τόκου με ανάλογη μείωση του κόστους συγκομιδής. Η μείωση του κόστους είναι μεγαλύτερη στα μικρότερα επίπεδα εκτάσεων, διότι η μείωση των δαπανών επιμερίζεται σε μικρότερη παραγωγή, ενώ σε μεγαλύτερες εκτάσεις το ίδιο ποσό επιμερίζεται σε μεγαλύτερες ποσότητες προϊόντος οπότε η επίπτωση είναι μικρότερη, με αποτέλεσμα οι καμπύλες να πλησιάζουν περισσότερο. Η καμπύλη με επιδότηση έχει ελάχιστο κόστος 0,43 €/κιλό, ενώ αυτή χωρίς την επιδότηση 0,49 €/κιλό, μια διαφορά 14%.



Γράφημα 7. Επίδραση της επιδότησης της μηχανής (Υποθέσεις: Χωρίς επιδότηση, με επιδότηση 50%).

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην εργασία χρησιμοποιήθηκε ένα μοντέλο προσομοίωσης (simulation) με πολλές στοχαστικές μεταβλητές και μελετήθηκαν οι παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση μιας βαμβακοσυλλεκτικής μηχανής στο χώρο της Θεσσαλίας με βάση την εξυπηρετούμενη έκταση βαμβακιού και το κόστος συγκομιδής του προϊόντος

Μεταξύ των διαφόρων παραγόντων τη σημαντικότερη επίδραση ασκούν οι βροχές και το ύψος βροχής περιορίζοντας κατά 120% την έκταση και αυξάνοντας κατά 92,6% το κόστος συγκομιδής. Ακολουθεί το εύρος της συλλεκτικής περιόδου, όπου διαφορά 5 ημερών αυξάνει την συγκομιζόμενη έκταση κατά 25% και μειώνει το κόστος κατά 37,5. Έπεται η περιεχόμενη υγρασία του βαμβακιού για την έναρξη και λήξη της συγκομιδής καθημερινά, όπου διαφορά 2% της υγρασίας αυξάνει την έκταση κατά 25% και μειώνει το κόστος κατά 10,4%. Στη συνέχεια έρχεται η αξιοπιστία της μηχανής η οποία αυξάνει κατά 10% την έκταση και μειώνει κατά 6% το κόστος. Η επιδότηση κατά 50% της αξίας της μηχανής μειώνει το κόστος κατά 14% αλλά δεν επηρεάζει την έκταση. Τέλος, η απώλεια χρόνου για τις μετακινήσεις της μηχανής επηρεάζει την έκταση και το κόστος για επίπεδα μεγαλύτερα των 600 στρεμμάτων.

Τα αποτελέσματα αυτά είναι σημαντικά και χρήσιμα για τους ιδιοκτήτες βαμβακοσυλλεκτικών μηχανών, συνεταιρισμούς, διεπαγγελματικές οργανώσεις, ομάδες παραγωγών, κλπ. αλλά και για τους υπεύθυνους της αγροτικής πολιτικής..

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Chen, L., Ahmad, T., Willcutt M., 1992. Simulation model for cotton harvesting machinery, Transactions of the ASAE 35(3), May–June, pp.1071-1077.
2. Anderson J. 1974. Simulation: Methodology and application of simulation in agricultural economics, Review of Marketing and Agricultural Economics Vol. 42 (1).

3. Carrod P. and Aslam M. 1977. Models of agricultural production: Methods and conclusions, Agricultural Experimental Station, University of Hawaii, Research Bulletin, No. 159.
4. Harrison S. 1977.Optimal growth strategies for pastoral firms in the Fitzroy Basin land Scheme, Unpublished PhD Thesis, Department of Economics, University of Queensland, Australia.
5. Hunt, D. 2001. Farm Power and Machinery Management, tenth edition, Iowa state university press, Ames, Iowa.
6. Shannon, R. 1975. Systems Simulation: the ART and Science, Prentice-Hall Inc., New Jersey.
7. Jones, J., Colwick, D., Wanjura, D., Hudpeth, E. 1975. HARVSIM: A simulation of cotton harvesting and ginning. Computer simulation of a cotton production system, users manual, A-R-S-S-52, USDA.
8. Jones, J., Colwick, R., Barker, G., McClendon, R. 1977. Optimum time for harvesting cotton: A new concept. ASAE paper no. 77-1020 St Joseph, MI: ASAE.
9. Baskin, G., and Sistler, F. 1979. Trailer optimization in a cotton harvesting system. ASAE Paper No. 79-1528, St Joseph, MI: ASAE.
10. Chen, L., Baker, G., Colwick, R. 1980. Simulation of cotton harvesting and ginning, MAFES Technical Bulletin 100.
11. McCledon, R., Baker, G., Jones, J., Colwick, R. 1981. Simulation of cotton harvesting to maximize returns, Transactions of the ASAE, 24 (6), p. 1436-1440.
12. de Toro, A., Hansson, A. 2004a. Analysis of field machinery performance based on daily soil workability status using discrete event simulation or on average workday probability, Agricultural Systems, 79, p.109-129
13. de Toro, A., Hansson, A. 2004b. Machinery cooperatives-a case study in Sweden, Biosystems Engineering, 87 (10), p. 13-25.
14. Witney, B. 1995. Choosing and Using Farm Machines, Land Technology, Edinburgh, Scotland.
15. Parmar, R., McClendon, R., Potter, W. 1996. Farm machinery selection using simulation and genetic algorithms, Transactions of the ASAE, 39 (5), p.1905-1909.
16. Siemens, J. 1998. Field machinery selection using simulation and optimization, In: Agricultural Systems Modelling and Simulation (Peart R M, Curry R B, eds), pp. 534-566, Marcell Dekker, Inc. New York, USA.
17. Ozkan, H., He, B., Holms, R., 1990. Determining machinery timeliness cost in corn planting using DRAINMOD, Transactions of the ASAE, Vol. 33(3), May-June, p.718-724.
18. John Deere 1987. Operator's Manual, No. 159409, Issue B6.
19. Mihram G. 1972. Simulation, Statistical Foundation and Methodology, Academic Press, NY. USA.
20. Ackoff R and Sasieni 1968. Fundamentals of Operation Research, Wiley and Sons Inc., NY. USA.
21. Mygdakos E. and Gemtos T. 2002. Reliability of cotton pickers and its effect on harvesting cost, Biosystems Engineering (Journal of Agricultural Engineering Research), Vol 82, No 4, August , pp.381-391.
22. Stapleton H., Cannon M., LePori W. 1965. Cotton harvest-defoliation scheduling, ASAE paper, No. 65-165.
23. Barker G., McClendopn R., Colwick R., Jones J. 1979. Relationship between cottpon lint color and weather exposure, Transactions of the ASAE 22(3), p. 470-474.
24. Williford J. 1992. Influence of harvest factors on cotton yield and quality, Transactions of the ASAE, Vol. 35 (4), p. 1103-1107.

25. Donaldson G. 1968. Allowing weather risk in assessing harvesting machinery capacity, American Journal of Agricultural Economics, Vol. 50, No. 1.
26. Donaldson G. 1970. Optimum harvesting system for cereals, Wye College, University of London.
27. Danok A., McCarl B., White T. 1980. Machinery selection modeling; incorporation of weather variability, American Journal of Agricultural Economics, 62 (4), p. 700-708.
28. Russell H. and MacHardy F. 1970. Optimum conbine time for minimum cost, Canadian Agricultural Engeneerinf, Vol.12, No.1.
29. Van Kampen J. 1971. Farm Machirery Selection and Weather Uncertainty, in Dent J. and Anderson J., (eds), System Analysis in Agricultural Management, Willey, Sydney.
30. Edwards W., Boehlje M. 1980. Machinery selection considering timeliness losess, Transactions of the ASAE, 23 (4), p. 810-815,821.
31. Whitson R., Kay R., LePori W., Rister E. 1981. Machinery and crop selection with weather risk, Transactions of the ASAE, 24 (2), p. 288-291, 295.
32. Witney B., Eradat O. 1982. The basis of tractor selection on arable farms, Journal of Agricultural Engineering Research, 27, p. 513-527.
33. Bell W. 1977. The cost of combine breakdowns and delayed harvesting, Farm Management Quarterly, Issue No. 16, June.
34. Jones J. 1970, A Simulated Environmental Model Involving Temperature, Evaporation, Rainfall, and Soil Moisture, M Sc, Thesis, State College, Mississippi.
35. Douglas H., Christensen, R., Fuol;er, E. 1971. Considaration of weather risk in forage machinery selection, Canadian Journal of Agricultural Economics, Vol. 19, No.1.
36. Kumar R. and Goss J. 1980. Total Combine Harvester Cost Optimization in Alfalfa Seed Harvesting, Transactions of the ASAE, Vol. 22(2).
37. Barnard, C., and Nix, J. 1979. Farm Planning and Control , second edition, Cambridge University Press, London, UK.
38. Kitsopanidis G. 2006. Economics of Animal Production, Principles, Applications, Technoeconomic Analysis, ZHTH Publications, Thessalonica, Greece.
39. Kitsopanidis G. 2003. Agricultural Economics, ZHTH Publications, Thessalonica, Greece.
40. Dent J. and Blackie J. 1979. Systems Simulation in Agriculture, Applied Science, London UK.
41. Ihnen L. and Heady E. 1964. Cost functions in relation to farm size and machinery technology in southern Iowa, Iowa State University, Research Bulletin No. 527, Ames, Iowa.

(111)

ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΜΕΤΡΗΤΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΣΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ

Ι. Γράβαλος [α], Θ. Γιαλαμάς, Ζ. Κουτσοφίτης, Α. Αυγουστής, Δ. Κατέρης, Π. Ξυραδάκης, Ζ. Τσιρόπουλος

Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Λάρισας, Σχολή Τεχνολογίας Γεωπονίας, Τμήμα Γεωργικών Μηχανών και Αρδεύσεων, Τ.Κ. 411 10, Λάρισα. [α]e-mail: gravalos@in.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η εγκατάσταση μετρητή στο σύστημα τροφοδοσίας καυσίμου των ελκυστήρων, θα βοηθούσε στον έλεγχο της κατανάλωσης. Η εγκατάσταση ενός τέτοιου μετρητή προκαλεί υδραυλική αντίσταση. Σκοπός της εργασίας αυτής είναι η μελέτη και η αντιμετώπιση των προβλημάτων που δημιουργούνται από την εγκατάσταση του μετρητή κατανάλωσης. Για την πειραματική επαλήθευση της επιλογής αυτής, χρησιμοποιήθηκε ένας ελκυστήρας 160 HP και οι δοκιμές έγιναν σε πραγματικές συνθήκες. Από τα αποτελέσματα προκύπτει ότι παράλληλα με την εγκατάσταση του μετρητή θα πρέπει να τοποθετείται ψυγείο καυσίμου πριν από την αντλία εκτόξευσης.

TECHNICAL PROBLEMS CONFRONTED BY THE INSTALLATION OF FUEL CONSUMPTION METER ON THE FUEL INJECTION SYSTEM

I. Gravalos[a], Th. Gialamas, Z. Koutsofitis, A. Augoustis D. Kateris, P. Xyradakis, Z. Tsiropoulos

Technological Educational Institute of Larissa, Faculty of Agricultural Technology, Department of Agricultural Machinery & Irrigation, 41110, Larissa, Greece. [α]e-mail: gravalos@in.gr

ABSTRACT

The installation of a flow meter in the fuel system of an agricultural tractor, it will help in the control of fuel consumption. The installation of this device may cause hydraulic resistance to the fuel flow. The aim of this paper is to study and solve the technical problems caused by the installation of fuel consumption meter. For the experimental verification of this choice a 160 HP agricultural tractor, it was used. The tests were done in real working conditions. From the test results, it is evident that when a consumption meter is used, it is better to put a fuel refrigerator before the injection pump.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η χώρα μας, όσον αφορά στον αριθμό των γεωργικών ελκυστήρων και στη συνολική εγκατεστημένη ισχύ, βρίσκεται σε ικανοποιητικά επίπεδα σε σύγκριση με τις υπόλοιπες χώρες της Ε.Ε., όσο και σε παγκόσμιο επίπεδο. Σύμφωνα με τον Τσατσαρέλη [1], η συνολική εγκατεστημένη ισχύς των διαξονικών και μοναξονικών ελκυστήρων υπολογίζεται περίπου σε $11 \cdot 10^6$ kW και η συνολική ετήσια ενέργεια, που καταναλώνεται από τους ελκυστήρες, αγγίζει το 1/3 της παραγόμενης, ανά έτος, ηλεκτρικής ενέργειας από τη ΔΕΗ. Οι αυξημένες ενεργειακές ανάγκες σε συνδυασμό με τη διεθνή άνοδο των τιμών του πετρελαίου καθιστούν την Ελληνική γεωργία ευάλωτη, αυξάνοντας το συνολικό κόστος παραγωγής και μειώνοντας την ανταγωνιστικότητα των αγροτικών προϊόντων. Επομένως, η ορθολογική χρήση και η εξοικονόμηση των υγρών καυσίμων είναι πρωταρχικής σημασίας.

Απαραίτητα στοιχεία, για τον ακριβή υπολογισμό της αναλισκόμενης ποσότητας καυσίμου, είναι η ισχύς που αναπτύσσει ένας κινητήρας και η ειδική κατανάλωση καυσίμου. Η ισχύς που αναπτύσσεται εξαρτάται από το είδος της εργασίας που εκτελείται και προσδιορίζεται με μεθοδευμένες μετρήσεις. Η ειδική κατανάλωση είναι συνάρτηση του φορτίου που δέχεται ο κινητήρας την κάθε στιγμή [2]. Οι γεωργικοί ελκυστήρες εκ των πραγμάτων είναι αναγκασμένοι να εργάζονται κάτω από αντίξοες συνθήκες με διαρκώς μεταβαλλόμενο φορτίο και όπως γίνεται αντιληπτό ο προσδιορισμός με σχετική ακρίβεια της αναλισκόμενης ποσότητας καυσίμου δεν είναι εφικτός. Ο πιο εύχρηστος τρόπος για να μετρήσουμε την κατανάλωση καυσίμου σε έναν ελκυστήρα είναι να εγκαταστήσουμε ένα μετρητή κατανάλωσης στο κύκλωμα τροφοδοσίας.

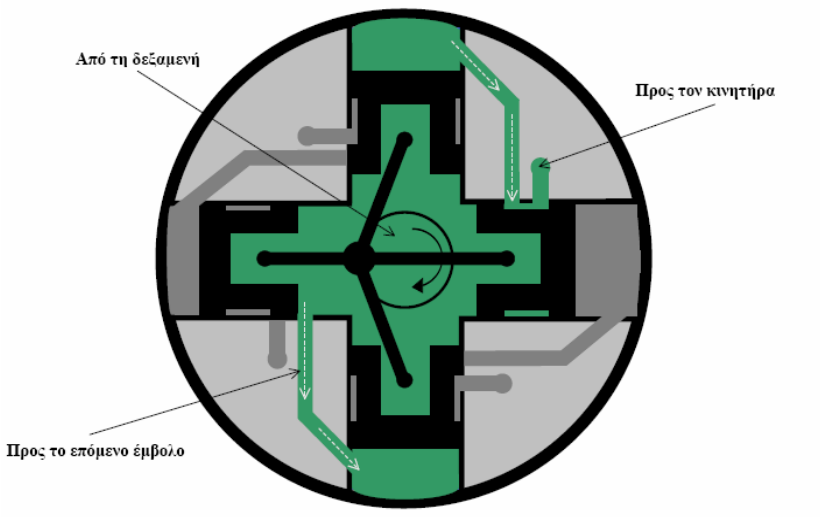
Στη διεθνή βιβλιογραφία συναντούμε διαφορετικούς μετρητές κατανάλωσης καυσίμου (fuel consumption meters), οι οποίοι βασίζονται σε διαφορετικές αρχές λειτουργίας. Οι μετρητές που χρησιμοποιούνται περισσότερο είναι οι εμβολοφόροι (piston-type) και οι μετρητές στροβίλου (turbine meters). Όσον αφορά τους εμβολοφόρους, πρόκειται για μετρητές θετικού εκτοπίσματος, οι οποίοι παρουσιάζουν τη μικρότερη τριβή και αδράνεια. Οι μετρητές στροβίλου προκαλούν πτώση πίεσης, παρουσιάζουν μεγαλύτερη τριβή και είναι σχετικά υψηλότερου κόστους [3].

Η εγκατάσταση μετρητή κατανάλωσης στο σύστημα τροφοδοσίας προκαλεί υδραυλική αντίσταση, με αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας του καυσίμου. Σύμφωνα με τους Watson και Janota [4] και Heywood [5], η αυξημένη θερμοκρασία καυσίμου επηρεάζει αρνητικά την απόδοση του κινητήρα και κατ' επέκταση ολόκληρου του μηχανήματος. Σκοπός της εργασίας αυτής είναι η μελέτη και η αντιμετώπιση των προβλημάτων που δημιουργούνται από την εγκατάσταση μετρητή κατανάλωσης στο κύκλωμα τροφοδοσίας καυσίμου. Για την αντιμετώπιση του προβλήματος αύξησης της θερμοκρασίας καυσίμου, λόγω υδραυλικής τριβής, αποφασίστηκε ότι θα έπρεπε στο κύκλωμα τροφοδοσίας να τοποθετηθεί ψυγείο καυσίμου και στη συνέχεια να διερευνηθεί η αποτελεσματικότητά του και η καταλληλότητα της επιλεγόμενης θέσης του.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Για τις ανάγκες της πειραματικής διαδικασίας επιλέχτηκε ο εμβολοφόρος μετρητής κατανάλωσης καυσίμου της Mera-Poltik [6], ο οποίος εκτός του κύριου μετρητή περιλαμβάνει ένα βοηθητικό φίλτρο, ένα «ταυ» και μία βαλβίδα αντεπιστροφής. Πρόκειται για ένα σύστημα από τέσσερα έμβολα γνωστού εκτοπίσματος, των οποίων η κίνηση, με τη βοήθεια ενός παλινδρομικού μηχανισμού, μετατρέπεται σε περιστροφική κίνηση ενός αξονίσκου (*Σχήμα 1*). Στη συνέχεια, η περιστροφική κίνηση του αξονίσκου

ανιχνεύεται από ένα μαγνητικό λήπτη και μεταφέρεται σε έναν απαριθμητή. Ο συγκεκριμένος μετρητής έχει εύρος τιμών μέτρησης 1÷130 $dm^3 \cdot h^{-1}$, με μέγιστο σφάλμα 2% και επιτρεπόμενα όρια πίεσης 0.3 MPa και θερμοκρασίας από –25 έως +70 ºC.

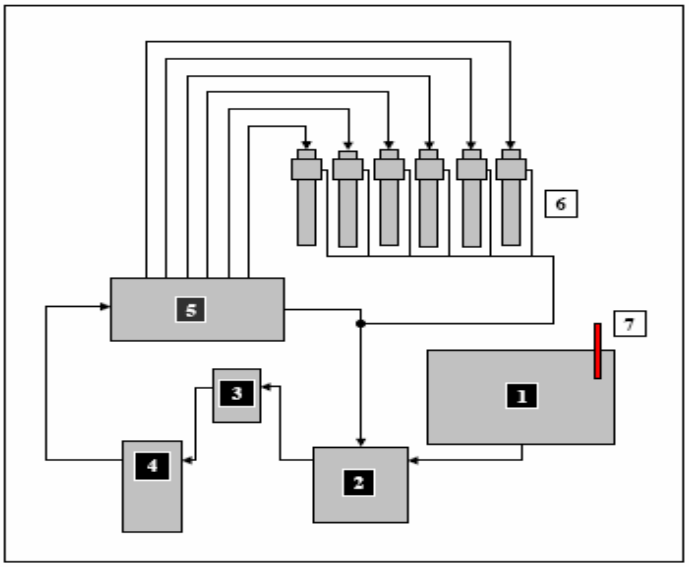


Σχήμα 1. Αρχή λειτουργίας του εμβολοφόρου μετρητή κατανάλωσης καυσίμου.

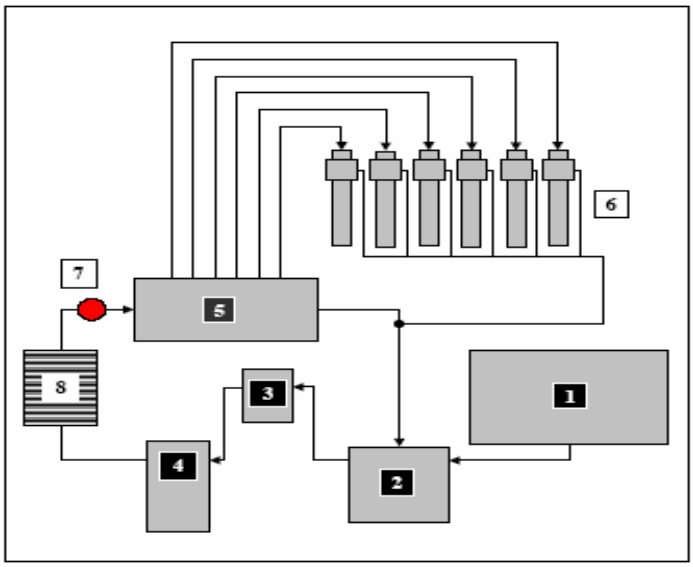
Το ψυγείο καυσίμου σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε σύμφωνα με τις απαιτήσεις του συγκεκριμένου κυκλώματος τροφοδοσίας και οι διαστάσεις του επιτρέπουν την εύκολη τοποθέτηση μπροστά από το ψυγείο νερού. Ο μετρητής κατανάλωσης και το ψυγείο καυσίμου τοποθετήθηκαν σε ένα γεωργικό ελκυστήρα μεγάλης ισχύος (160 HP), ο οποίος ήταν σε άριστη τεχνική κατάσταση.

Η θερμοκρασία του καυσίμου μετρήθηκε σε διαφορετικά σημεία του συστήματος τροφοδοσίας με σκοπό να εντοπιστεί η κατάλληλη θέση του ψυγείου στο σύστημα τροφοδοσίας και να διερευνηθεί η αποτελεσματικότητα της απόδοσής του. Η διαδικασία που ακολουθήθηκε για τη μέτρηση της θερμοκρασίας καυσίμου, ήταν η εξής:

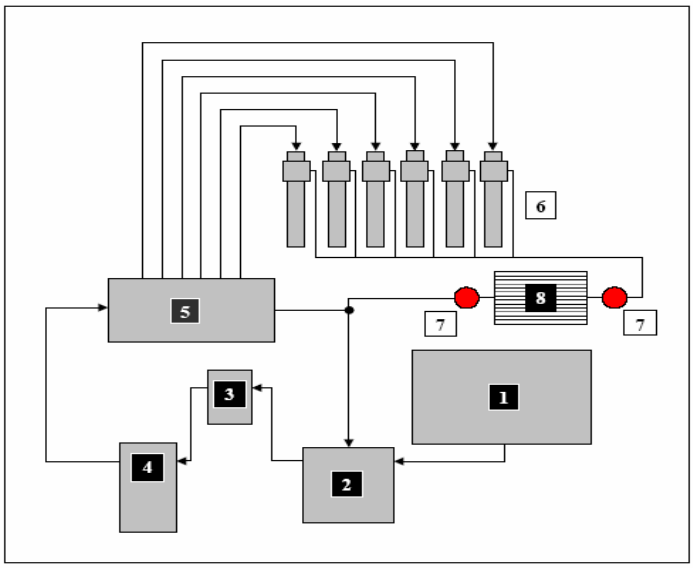
- Μέτρηση της θερμοκρασίας στη δεξαμενή καυσίμου, αρχικά χωρίς το μετρητή κατανάλωσης και στη συνέχεια μετά την τοποθέτηση του μετρητή στο σύστημα τροφοδοσίας σύμφωνα με το *Σχήμα 2*.
- Μέτρηση της θερμοκρασίας πριν την είσοδο του καυσίμου στην αντλία εκτόξευσης, αρχικά χωρίς το μετρητή κατανάλωσης, στη συνέχεια μετά την τοποθέτηση του μετρητή και τέλος όταν στο κύκλωμα εκτός του μετρητή τοποθετήθηκε το ψυγείο καυσίμου σύμφωνα με το *Σχήμα 3*.
- Μέτρηση της θερμοκρασίας καυσίμου στο κύκλωμα επιστροφής, πριν και μετά το ψυγείο καυσίμου σύμφωνα με το *Σχήμα 4*.



Σχήμα 2. Μέτρηση της θερμοκρασίας στη δεξαμενή καυσίμου. 1). Δεξαμενή, 2). Μετρητής κατανάλωσης, 3). Αντλία τροφοδοσίας, 4). Φίλτρο, 5). Αντλία εκτόξευσης, 6). Εγχυτήρες, 7). Θερμόμετρο.



Σχήμα 3. Μέτρηση της θερμοκρασίας πριν την είσοδο του καυσίμου στην αντλία εκτόξευσης. 1). Δεξαμενή, 2). Μετρητής κατανάλωσης, 3). Αντλία τροφοδοσίας, 4). Φίλτρο, 5). Αντλία εκτόξευσης, 6). Εγχυτήρες, 7). Θερμόμετρο, 8). Ψυγείο.



Σχήμα 4. Μέτρηση θερμοκρασίας στο κύκλωμα επιστροφής καυσίμου. 1) Δεξαμενή, 2) Μετρητής κατανάλωσης, 3) Αντλία τροφοδοσίας, 4) Φίλτρο, 5) Αντλία εκτόξευσης, 6) Εγχυτήρες, 7) Θερμόμετρα, 8) Ψυγείο.

Οι μετρήσεις της θερμοκρασίας καυσίμου έγιναν σε πραγματικές συνθήκες εργασίας του ελκυστήρα, κατά τη διάρκεια βαθιάς άροσης. Η λήψη των μετρήσεων στη δεξαμενή έγιναν με τη βοήθεια ενός υδραργυρικού θερμόμετρου με εύρος μέτρησης από –10 έως +110ºC. Για τη μέτρηση της θερμοκρασίας στα άλλα σημεία του κυκλώματος τροφοδοσίας χρησιμοποιήθηκε ένα θερμόμετρο ηλεκτρικής αντίστασης με εύρος μέτρησης από –100 έως +200ºC και ακρίβεια ±0.2ºC.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Για την ασφαλέστερη εξαγωγή συμπερασμάτων, κάθε μέτρηση επαναλήφθηκε 10 φορές, η δειγματοληψία γινόταν ανά διαστήματα των 5 min και ακολούθησε στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων.

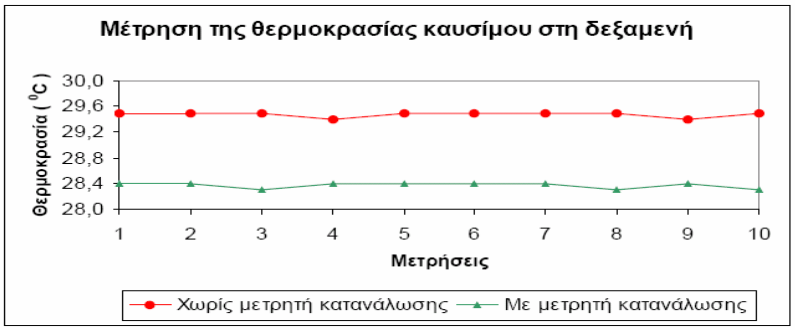
Τα αποτελέσματα των μετρήσεων της θερμοκρασίας καυσίμου στη δεξαμενή παρουσιάζονται στον *Πίνακα 1* και απεικονίζονται στο γράφημα του *Σχήματος 5*. Η μέση τιμή της θερμοκρασίας καυσίμου, όταν στο κύκλωμα δεν είχε τοποθετηθεί ο μετρητής κατανάλωσης, ήταν 29.48 ºC και μετά την εγκατάστασή του έγινε 28.37 ºC. Αυτή η διαφορά θερμοκρασίας των 1.11 ºC οφείλεται στο γεγονός ότι, το επιστρεφόμενο καύσιμο δεν καταλήγει πίσω στη δεξαμενή, αλλά επιστρέφει στο κύκλωμα διαμέσου του μετρητή.

Στη συνέχεια μετρήθηκε η θερμοκρασία του καυσίμου πριν την είσοδό του στην αντλία εκτόξευσης. Τα αποτελέσματα αυτά δίνονται στον *Πίνακα 2* και στο γράφημα του *Σχήματος 6*. Η μέση τιμή της θερμοκρασίας καυσίμου, όταν στο κύκλωμα δεν είχε τοποθετηθεί ο μετρητής κατανάλωσης, ήταν 39.47ºC. Μετά την εγκατάσταση του μετρητή έγινε 52.66ºC. Είναι προφανές ότι η αύξηση της θερμοκρασίας καυσίμου κατά 13.19ºC οφείλεται αφενός στην υδραυλική αντίσταση, λόγω της εγκατάστασης του μετρητή καυσίμου στο κύκλωμα τροφοδοσίας και αφετέρου στα επιστρεφόμενα. Η μέση τιμή της θερμοκρασίας καυσίμου μετά και την εγκατάσταση του ψυγείου έπεσε στους

38.32ºC. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι η τοποθέτηση ψυγείου βοήθησε ουσιαστικά στην εξάλειψη των αρνητικών αυτών επιπτώσεων στο κύκλωμα τροφοδοσίας καυσίμου.

Πίνακας 1. Θερμοκρασία καυσίμου στη δεξαμενή.

Αριθμός Μέτρησης	Θερμοκρασία καυσίμου στη δεξαμενή [ºC]	
	Χωρίς μετρητή κατανάλωσης	Με μετρητή κατανάλωσης
1	29.5	28.4
2	29.5	28.4
3	29.5	28.3
4	29.4	28.4
5	29.5	28.4
6	29.5	28.4
7	29.5	28.4
8	29.5	28.3
9	29.4	28.4
10	29.5	28.3
Μέση τιμή	29.48	28.37
Τυπική απόκλιση	0.042164	0.048305
Συντελεστής Μεταβλητότητας	0.143025	0.170266



Σχήμα 5. Μέτρηση της θερμοκρασίας καυσίμου στη δεξαμενή.

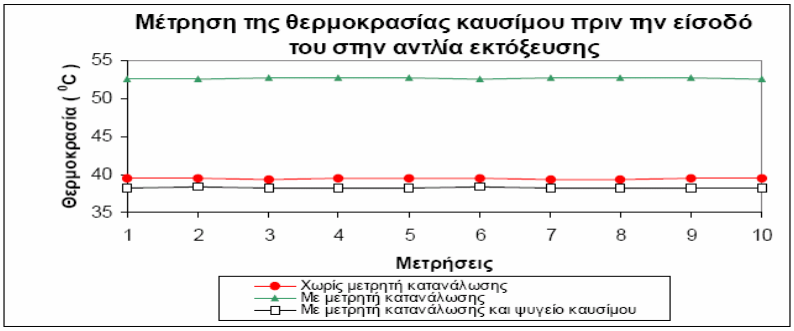
Τέλος, το ψυγείο τοποθετήθηκε στο κύκλωμα επιστροφής και μετρήθηκε η θερμοκρασία καυσίμου στην είσοδο και στην έξοδο του ψυγείου. Τα αποτελέσματα αυτών των μετρήσεων δίνονται στον *Πίνακα 3* και στο γράφημα του *Σχήματος 7*. Η μέση τιμή της θερμοκρασίας καυσίμου πριν το ψυγείο είναι 65.65ºC και μετά από αυτό είναι 51.15ºC, ήτοι έχουμε πτώση της θερμοκρασίας κατά 14.5ºC. Ωστόσο, η θερμοκρασία του καυσίμου που επιστρέφει στο κύκλωμα τροφοδοσίας παραμένει σε υψηλά επίπεδα. Επομένως η εγκατάσταση του ψυγείου στη διακλάδωση της επιστροφής καυσίμου δε θα βοηθούσε ουσιαστικά στην αντιμετώπιση του προβλήματος.

Πίνακας 2. Θερμοκρασία πριν την είσοδο του καυσίμου στην αντλία εκτόξευσης.

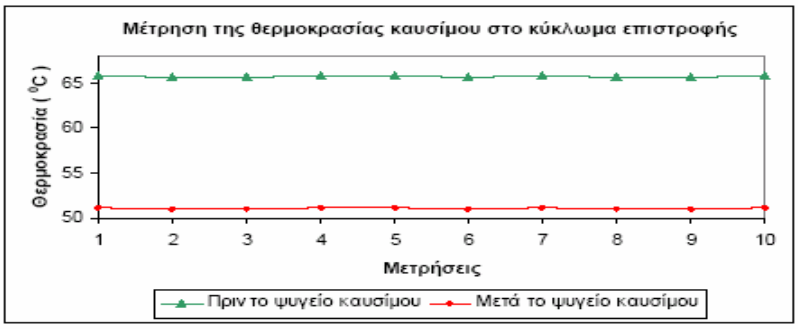
Αριθμός Μέτρησης	Θερμοκρασία καυσίμου πριν την είσοδό του στην αντλία εκτόξευσης [ºC]		
	Χωρίς μετρητή κατανάλωσης	Με μετρητή κατανάλωσης	Με μετρητή κατανάλωσης και ψυγείο καυσίμου
1	39.5	52.6	38.3
2	39.5	52.6	38.4
3	39.4	52.7	38.3
4	39.5	52.7	38.3
5	39.5	52.7	38.3
6	39.5	52.6	38.4
7	39.4	52.7	38.3
8	39.4	52.7	38.3
9	39.5	52.7	38.3
10	39.5	52.6	38.3
Μέση τιμή	39.47	52.66	38.32
Τυπική απόκλιση	0.048305	0.05164	0.042164
Συντελεστής Μεταβλητότητας	0.122383	0.098063	0.110031

Πίνακας 3. Θερμοκρασία καυσίμου στο κύκλωμα επιστροφής.

Αριθμός Μέτρησης	Θερμοκρασία καυσίμου στο κύκλωμα επιστροφής [ºC]	
	Πριν το ψυγείο καυσίμου	Μετά το ψυγείο καυσίμου
1	65.7	51.2
2	65.6	51.1
3	65.6	51.1
4	65.7	51.2
5	65.7	51.2
6	65.6	51.1
7	65.7	51.2
8	65.6	51.1
9	65.6	51.1
10	65.7	51.2
Μέση τιμή	65.65	51.15
Τυπική απόκλιση	0.052705	0.052705
Συντελεστής Μεταβλητότητας	0.080281	0.103039



Σχήμα 6. Μέτρηση της θερμοκρασίας στην είσοδο της αντλίας εκτόξευσης.



Σχήμα 7. Μέτρηση της θερμοκρασίας καυσίμου στο κύκλωμα επιστροφής.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- Ο μετρητής κατανάλωσης είναι ένα συμπληρωματικό εξάρτημα του συστήματος τροφοδοσίας, το οποίο εξασφαλίζει τον ακριβή έλεγχο της κατανάλωσης καυσίμου.
- Η εγκατάσταση μετρητή κατανάλωσης στο κύκλωμα τροφοδοσίας προκαλεί υδραυλική τριβή με αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας καυσίμου.
- Για την αντιμετώπιση του προβλήματος αυτού (ιδίως τους καλοκαιρινούς μήνες), προτείνεται η τοποθέτηση ψυγείου καυσίμου στο κύκλωμα τροφοδοσίας.
- Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των μετρήσεων, ως καταλληλότερη θέση για την εγκατάσταση του ψυγείου κρίνεται η θέση μπροστά από την αντλία εκτόξευσης.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Τσατσαρέλης, Κ., 1997. *Γεωργικοί Ελκυστήρες*. Εκδόσεις Γιαχούδη–Γιαπούλη. Θεσσαλονίκη.
2. Σταθόπουλος, Γ., 1991. *Κριτήρια εκλογής γεωργικών μηχανημάτων*. Αγροτική Τράπεζα της Ελλάδος. Τμήμα Εκδόσεων και Εντύπων.
3. Doebelin, E., O., 1990. *Measurement Systems. Application and Design*. McGraw-Hill International Editions.
4. Watson, N., Janota, M., S., 1982. *Turbocharging the internal combustion engine.* MacMillan Press Ltd. London.
5. Heywood, J., B., 1992. *Combustion Internal Engine Fundamentals*. McGraw-Hill International Editions.
6. Mera-Poltik, 2001. *Positive Displacement Flowmeters.* Instruction Manual.

(114)

ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΩΝ ΓΕΩΡΓΙΚΩΝ ΕΛΚΥΣΤΗΡΩΝ ΣΕ ΔΑΣΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ

Ε. Λάμπου[1α], Κ. Ζάννης[1β] και Ε. Καραγιάννης[1γ]
[1]Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης,
Σχολή Δασολογίας & Φυσικού Περιβάλλοντος, 54 124 Θεσσαλονίκη,
[α]elampou@for.auth.gr, [β]zannis@act.edu, [γ]eakarag@for.auth.gr,

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της εργασίας αυτής ήταν να μελετηθεί η εφαρμογή και η απόδοση των γεωργικών ελκυστήρων σε δασικές εργασίες. Υπολογίστηκε η συνολική ποσότητα του ξύλου που μετατοπίστηκε από τους γεωργικούς και δασικούς ελκυστήρες, για την περίοδο 2000-2005 και συγκρίθηκε η συνολική τους απόδοση (m^3/h) για κάθε έτος. Από την ανάλυση των στοιχείων προέκυψε ότι η μέση απόδοση των πρώτων κυμάνθηκε από 1,47-1,82 m^3/h ενώ η αντίστοιχη των δεύτερων από 1,20-1,22 m^3/h και για την περίοδο έρευνας χρησιμοποιήθηκαν περισσότερο οι γεωργικοί ελκυστήρες, ισχύος περίπου 150 hp, σε σχέση με τους δασικούς ελκυστήρες ίδιας ιπποδύναμης.

APPLICATIONS OF AGRICULTURAL TRACTORS IN FORESTRY WORKS

E. Lampou[1α], K. Zannis[1β] and E. Karagiannhs[1γ]
[1] Aristotle University of Thessaloniki,
School of Forestry and Natural Environment, 54124 Thessaloniki,
[α]elampou@for.auth.gr, [β]zannis@act.edu, [γ]eakarag@for.auth.gr

ABSTRACT

The aim of this paper was the application and performance of agricultural tractors in forest works. The total amount of wood that was skidding by agricultural and forest tractors, was calculated over a period of 5 years (2000-2005) and their total output (m^3/h) for each year was then compared. The analysis of the data showed that the average performance of the agricultural tractors fluctuated between 1,47-1,82 m^3/h whereas the performance of the forest tractors relatively was measured between 1,20-1,22 m^3/h and the tractors mostly used, during the study were agricultural's tractors of 150 hp in relatively with forest tractors of the same horsepower.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο γεωργικός ελκυστήρας είναι ένα αυτοκινούμενο όχημα που χρησιμοποιείται για την έλξη, ώθηση και ανάρτηση γεωργικών εργαλείων και μηχανημάτων καθώς και για τη λειτουργία των μηχανισμών τους είτε εν κινήσει είτε εν στάσει. Οι πρώτοι ελκυστήρες ήταν ατμοκίνητοι και τοποθετούνται χρονολογικά περίπου 100 χρόνια πριν την ανακάλυψη των κινητήρων εσωτερικής καύσης. Μετά το 1900, άρχισαν ουσιαστικά οι προσπάθειες για την κατασκευή ελκυστήρων με βάση αρχές που χρησιμοποιούνται και σήμερα και η εφαρμογή τους έγινε απαραίτητη σε όλα τα στάδια της παραγωγικής διαδικασίας [6]. Τα τελευταία χρόνια μάλιστα κατασκευάσθηκαν σύγχρονοι ελκυστήρες εφοδιασμένοι με ηλεκτρονικά συστήματα, με αποτέλεσμα την αύξηση της απόδοσής τους και την καλύτερη ποιότητα της εργασίας.

Η χρησιμοποίηση των γεωργικών ελκυστήρων σε συγκεκριμένες δασικές εργασίες ξεκίνησε στις αρχές της δεκαετίας του 1930 όταν εμφανίστηκαν οι πρώτοι αυτοκινούμενοι γεωργικοί ελκυστήρες και η εκμηχάνιση των εργασιών έλαβε επαναστατική μορφή [4]. Οι τροχοφόροι ελκυστήρες αποτελούν σήμερα για τη γεωργία και Δασοπονία τα πλέον εύχρηστα μηχανήματα έλξης και κίνησης [3]. Στη χώρα μας, από το 1990 μέχρι και το 2000, το σύνολο των μονοαξονικών ελκυστήρων αυξήθηκε από 123.097σε 133.806 και των διαξονικών από 215.755 σε 254.527 δηλαδή έχουμε μία αύξηση της τάξεως του 8% και 15% αντίστοιχα. Από τους 133.806 μονοαξονικούς ελκυστήρες που βρίσκονται σε χρήση το 2001, το 45,68% απασχολείται σε πεδινές εκτάσεις, το 28,96% σε ημιορεινές εκτάσεις και το 25,36% σε ορεινές εκτάσεις ενώ τα αντίστοιχα ποσοστά για τους διαξονικούς ελκυστήρες είναι 67,04%, 22,85% και 10,11% [2]. Γενικότερα οι ελκυστήρες που βρίσκονται σε χρήση, αυξήθηκαν από το 1965 μέχρι το 2000 κατά 335.280, δηλαδή έχει επέλθει μία αύξηση της τάξεως του 87% [1].

Το υψηλό κόστος λειτουργίας των μηχανημάτων μετατόπισης ήταν μία από τις βασικές αιτίες που οδήγησε στη χρησιμοποίηση των γεωργικών ελκυστήρων σε δασικές εργασίες. Η δυνατότητα προσαρμογής ελκόμενων και φερόμενων μηχανισμών, στους γεωργικούς ελκυστήρες, τους καθιστά μηχανήματα πολλαπλών εφαρμογών [3].

Οι γεωργικοί ελκυστήρες παρουσιάζουν σε σχέση με τους δασικούς, τη δυνατότητα πολλαπλών χρήσεων σε δασικές εργασίες, γιατί οι δεύτεροι ναι μεν φέρουν το σύστημα μετάδοσης της κίνησης (Power-take-off, PTO), αλλά δεν έχουν την κατάλληλη υποδομή για να έλξουν π.χ. άροτρα ή κάποια άλλα παρελκόμενα εργαλεία και μηχανήματα.

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι να μελετηθεί η εφαρμογή και η απόδοση των γεωργικών ελκυστήρων, μεγάλης ισχύος (περίπου 150 hp), σε δασικές εργασίες και να συγκριθεί η απόδοσή τους με τους δασικούς ελκυστήρες. Χρησιμοποιήθηκαν ως αντιπροσωπευτικοί οι: α) ο γεωργικός ελκυστήρας της εταιρείας New Holland ισχύος 150 hp και β) ο δασικός ελκυστήρας της εταιρείας Caterpillar.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΣ

Για τις ανάγκες της έρευνας αυτής χρησιμοποιήθηκαν:

1. Έντυπα που στάλθηκαν σε 27 παραγωγικά Δασαρχεία και Διευθύνσεις Δασών της χώρας μας, προκειμένου να συγκεντρωθούν στοιχεία που αφορούν την εφαρμογή και την απόδοση των γεωργικών ελκυστήρων σε δασικές εργασίες *(Πίνακας 1)*. Το έντυπο του πίνακα 1 αφορά μηχανήματα που ανήκουν στο Δασαρχείο ή σε Συνεταιρισμούς και ιδιώτες και χρησιμοποιούνται από τα Δασαρχεία για τις διάφορες δασικές εργασίες. Τα δασαρχεία τα οποία λειτουργούν με το σύστημα της Κρατικής Εκμετάλλευσης Δασών (ΚΕΔ) επιλέχθηκαν με κριτήριο την παραγωγικότητά τους. Όπως δείχνει ο πίνακας 1 όλα τα στοιχεία κατανεμήθηκαν κατά κατηγορίες σύμφωνα με το είδος του μηχανήματος και τη μέθοδο εργασίας.

Πίνακας 1. Έντυπο αποστολής στα Δασαρχεία και Διευθύνσεις Δασών

Α/Α	Κατηγορία μηχανήματος	Χρόνος εργασίας (h)	Παραγωγή έργου (m^3)	Απόδοση εργασίας (m^3/h)
1	Γεωργικοί ελκυστήρες	-	-	-
2	Δασικοί ελκυστήρες	-	-	-
3	Ερπυστ/ροι ελκυστήρες	-	-	-
4	Unimog	-	-	-
5	Σχοιν/νοί	-	-	-

2. Τεχνικά στοιχεία των αντιπροσωπευτικών γεωργικών και δασικών ελκυστήρων που χρησιμοποιήθηκαν στις δασικές εργασίες, κατά την περίοδο έρευνας (*Πίνακες 2 και 3*).

Πίνακας 2. Τεχνικά χαρακτηριστικά γεωργικού ελκυστήρα τύπου New Holland

Μέγιστη ισχύς [Kw/hp(CV)]	106/144	Συνολικό μήκος (χιλ.)	4532
Στροφές κινητήρα σ.α.λ.	2200	Ελάχιστο συνολικό πλάτος (χιλ.)	1913
Κυβισμός	6728	Συνολικό ύψος (χιλ)	2920
Διάμετρος/διαδρομή (mm/mm)	104x132	Ελάχιστο εμπρόσθιο μετατρόχιο (χιλ.)	1407
Μέγιστη ροπή στις 1400 σ.α.λ. (Nm)	612	Μέγιστο εμπρόσθιο μετατρόχιο (χιλ.)	2108
Διαθέσιμη ροπή (%)	41	Οπίσθιο ελάχιστο-μέγιστο μετατρόχιο (χιλ.)	1430/2030

Πίνακας 3. Τεχνικά χαρακτηριστικά δασικού ελκυστήρα τύπου Holder

Μέγιστη ισχύς [Kw/hp(CV)]	51,5/70	Υδραυλικό ρεζερβουάρ πετρελαίου (L)	160
Λειτουργικό βάρος (Kg)	9800	Δεξαμενή καυσίμων (L)	220
Υδραυλική πίεση συστήματος (psi)	3000	Ανώτατη προσιτότητα (m)	5,6
Υδρ/κη ροή πετρελαίου (L/min)	105	Προσιτότητα βραχίονα (m)	4,8

Συγκεντρώθηκαν όλα τα στοιχεία από τα έντυπα που στάλθηκαν στα 27 Δασαρχεία και Διευθύνσεις Δασών της χώρας μας και επεξεργάσθηκαν με ένα πρόγραμμα που συντάχθηκε στον Η/Υ. Κωδικοποιήθηκαν όλα τα στοιχεία που αφορούν τα μηχανήματα που χρησιμοποιήθηκαν, τον ξυλώδη όγκο που μετατοπίστηκε και το χρόνο εργασίας των μηχανημάτων που απαιτήθηκε για τη μετατόπιση τους. Μετά από επεξεργασία και ανάλυση όλων των στοιχείων προέκυψαν τα παρακάτω αποτελέσματα.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Από τη μελέτη των στοιχείων του πίνακα 1 και την επεξεργασία τους στον Η/Υ προέκυψε ο πίνακας 4 που δείχνει τη συνολική ποσότητα του ξύλου που μετατοπίστηκε με τα διάφορα μέσα μετατόπισης, (δασικοί ελκυστήρες, γεωργικοί ελκυστήρες,) για την περίοδο μελέτης 2000-2005. Στον πίνακα 4 φαίνεται η συνολική ποσότητα του ξυλώδους όγκου που μετατοπίστηκε, κατά έτος και κατά κατηγορία μηχανήματος.

Πίνακας 4. Συνολική απόδοση των δασικών και γεωργικών ελκυστήρων για την περίοδο έρευνας (2000-2005)

	Έτη	Συνολικός χρόνος μετατόπισης (h)	Συνολικός όγκος μετατοπιζόμενου ξύλου (m^3)	Απόδοση ελκυστήρα (m^3/h)
Γεωργικοί ελκυστήρες	2000	967	1.760	1,82
	2001	2207	3.244	1,47
	2002	1192	1.776	1,49
	2003	1352	2.136	1,58
	2004	1326	2.466	1,86
	2005	1538	2.276	1,48
	Σύνολο	8582	13.658	1,59
Δασικοί ελκυστήρες	2000	1339	2.972	2,22
	2001	1959	2.743	1,40
	2002	1538	1.846	1,20
	2003	1048	1.792	1,21
	2004	1706	2.576	1,51
	2005	1786	2.607	1,46
	Σύνολο	9376	14.536	1,55

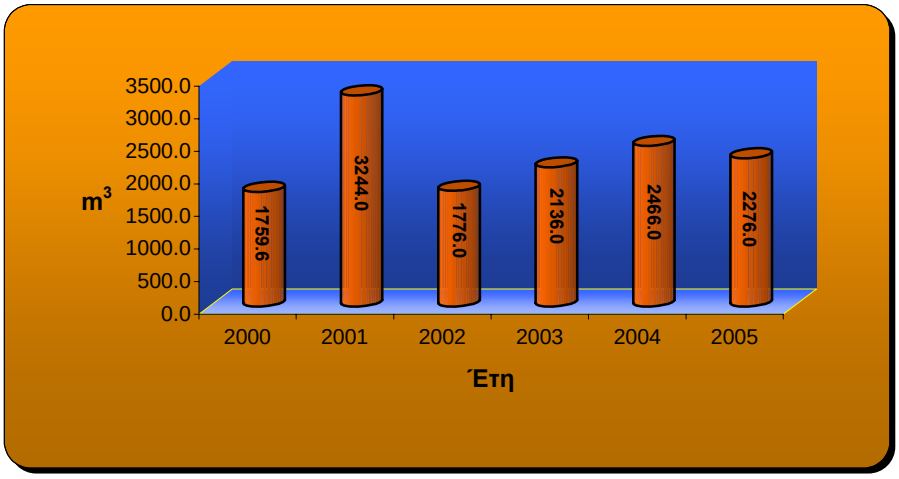
Από την επεξεργασία των στοιχείων του πίνακα 4 στον Η/Υ, προέκυψαν τα σχήματα 1, 2 και 3. Στο σχήμα 1 φαίνεται η μέση απόδοση των ελκυστήρων για την πενταετία 2000-2005. Στα σχήματα 2 και 3 φαίνεται η χρήση των δασικών και γεωργικών ελκυστήρων με βάση το μετατοπιζόμενο όγκο, αντίστοιχα για την ίδια χρονική περίοδο.

Σχήμα 1. Μέση απόδοση των γεωργικών και δασικών ελκυστήρων.

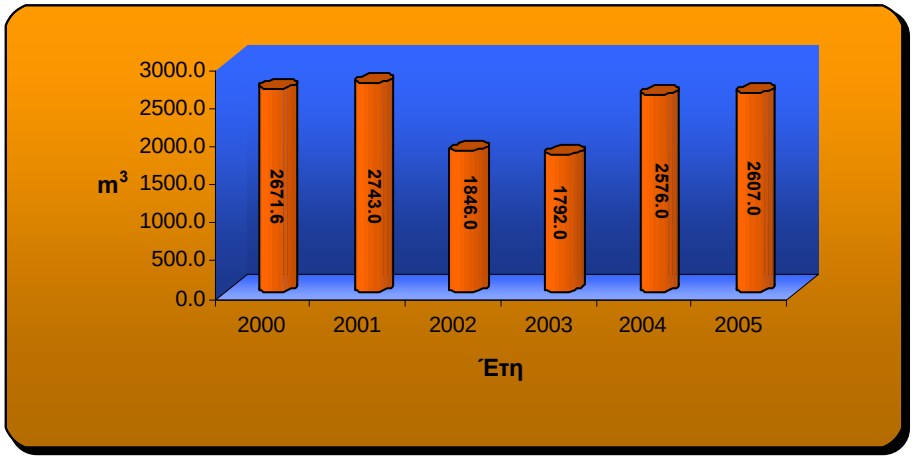
Μετά από την επεξεργασία και ανάλυση των στοιχείων των σχημάτων 1, 2 και 3 προκύπτει ότι:

α) Η μέση απόδοση των δασικών ελκυστήρων, για την πενταετία 2000-2005 είναι 1,55 m^3/h ενώ για κάθε έτος χωριστά είναι 2,22 m^3/h, 1,40 m^3/h, 1,20 m^3/h, 1,21 m^3/h, 1,51 m^3/h και 1,46 m^3/h αντίστοιχα. Η μέση απόδοση των γεωργικών ελκυστήρων, για την ίδια περίοδο μελέτης είναι 1,59 m^3/h. Για κάθε έτος χωριστά είναι 1,82 m^3/h, 1,47 m^3/h, 1,49 m^3/h, 1,58 m^3/h, 1,86 m^3/h και 1,48 m^3/h αντίστοιχα. Η μέση απόδοση λοιπόν των γεωργικών ελκυστήρων είναι κατά 2,6 % μεγαλύτερη από την αντίστοιχη των δασικών ελκυστήρων για την ίδια περίοδο και για κάθε ένα έτος χωριστά φαίνεται ότι το 2000 είναι μεγαλύτερη η μέση απόδοση των δασικών ελκυστήρων κατά 18,1% έναντι

των γεωργικών ενώ για τα έτη 2001, 2002, 2003, 2004 και 2005 είναι μεγαλύτερη η μέση απόδοση των γεωργικών ελκυστήρων έναντι των δασικών κατά 4,96%, 19,46%, 23,42%, 18,82% και 1,35% αντίστοιχα.



Σχήμα 2. Χρήση των δασικών ελκυστήρων με βάση με το μετατοπιζόμενο όγκο για τα έτη 2000-2005



Σχήμα 3. Χρήση των γεωργικών ελκυστήρων με βάση με το μετατοπιζόμενο όγκο για τα έτη 2000-2005

β) Από τα σχήματα 2 και 3 προκύπτει ότι ο μέσος όρος του ξυλώδη όγκου που μεταφέρθηκε από τους γεωργικούς ελκυστήρες στην πενταετία 2000-2005, είναι 2.276,27 m^3 και ο αντίστοιχος όγκος για τους δασικούς ελκυστήρες είναι 2.372,60 m^3. Πιο αναλυτικά όσον αφορά το ξυλώδη όγκο που μετατοπίστηκε για το 2000 οι δασικοί ελκυστήρες χρησιμοποιήθηκαν κατά 34,14% περισσότερο σε σχέση με τους γεωργικούς. Ανάλογη είναι η εφαρμογή των γεωργικών ελκυστήρων για τα έτη 2002, 2004 και 2005. Δηλαδή το 2002 ο ξυλώδης όγκος που μετατοπίστηκε από τους δασικούς ελκυστήρες είναι 3,8% μεγαλύτερος από τον αντίστοιχο όγκο που μετατοπίστηκε από τους γεωργικούς ελκυστήρες, το 2004 είναι 4,2% μεγαλύτερος και το 2005 είναι 12,7% μεγαλύτερος. Για τα έτη 2001 και 2003 ο ξυλώδης όγκος που μετατοπίστηκε από τους

δασικούς ελκυστήρες είναι αντίστοιχα 15,4% και 16,1% μικρότερος από τον όγκο που μετατοπίστηκε από τους γεωργικούς ελκυστήρες.

4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από την ανάλυση των αποτελεσμάτων του πίνακα 4 και των σχημάτων 1, 2 και 3 προέκυψαν τα εξής συμπεράσματα:

1) Η μέση απόδοση των γεωργικών ελκυστήρων (m^3/h) για την περίοδο έρευνας είναι μεγαλύτερη από την αντίστοιχη των δασικών. Οι παράγοντες που επηρεάζουν τη διαφοροποίηση της απόδοσης των γεωργικών ελκυστήρων σε σχέση με τους δασικούς είναι ότι οι σύγχρονοι γεωργικοί ελκυστήρες έχουν βελτιώσει, τα τελευταία χρόνια, αισθητά τα τεχνικά χαρακτηριστικά καθώς και την ταχύτητά τους. Συγκεκριμένα στην παρούσα εργασία ο γεωργικός ελκυστήρας ο οποίος χρησιμοποιήθηκε ήταν διπλάσιας ισχύος από τον δασικό, γεγονός το οποίο επηρεάζει τόσο την παραγωγή έργου όσο και το κόστος. Συνεπώς οι γεωργικοί ελκυστήρες μπορούν να κινηθούν γρηγορότερα και με μεγαλύτερη ασφάλεια, όχι μόνο σε επίπεδα εδάφη όπως συμβαίνει κατά κύριο λόγο στις αγροτικές εκτάσεις, αλλά και σε κεκλιμένα, και μάλιστα σε μερικές περιπτώσεις ιδιαίτερα επικλινή εδάφη, όπως συμβαίνει με τις δασικές εκτάσεις.

2) Η χρήση των γεωργικών ελκυστήρων σε δασικές εργασίες, και συγκεκριμένα στις εργασίες μετατόπισης του ξύλου, για την πενταετία 2000-2005, ήταν σημαντική. Από το συνολικό όγκο του ξύλου που μετατοπίστηκε κάθε χρόνο, με μηχανικά μέσα, το μεγαλύτερο ποσοστό μετατοπίστηκε με τη χρήση γεωργικών ελκυστήρων μέσης περίπου ισχύος. Η χρήση ενός ελκυστήρα αποκλειστικά και μόνο σε εργασίες μετατόπισης του ξύλου, είναι οικονομικά ασύμφορη, μιας και οι υλοτομίες στην Ελλάδα είναι επιλογικές και όχι αποψιλωτικές. Ο όγκος δηλαδή του ξύλου που συγκομίζεται κάθε χρόνο (λήμμα) είναι μικρός έτσι ώστε να μην δικαιολογείται η αγορά δασικών ελκυστήρων σε διάφορες δασικές περιοχές της χώρας μας, αποκλειστικά και μόνο για τις εργασίες μετατόπισης. Από την άλλη η σύγχρονη βιομηχανία γεωργικών ελκυστήρων δίνει τη δυνατότητα εφαρμογής τους, σε διάφορες εργασίες και όχι αποκλειστικά και μόνο σε γεωργικές καλλιέργειες.

5. ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η πρώτη συγγραφέας θα ήθελε να εκφράσει τις ευχαριστίες της προς το Ίδρυμα Κρατικών Υποτροφιών (Ι.Κ.Υ.), του οποίου είναι υπότροφος. Η παραπάνω εργασία πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του προγράμματος υποτροφιών εσωτερικού μεταπτυχιακών σπουδών.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Γιακουμέτης, Γ., 1992. Ελκυστήρες και Γεωργικά Μηχανήματα, Εκδόσεις ΄΄ΙΩΝ΄΄ Στέλλα Παρίκου & ΣΙΑ Ο.Ε., Αθήνα, σελ.9.
2. Ε.Σ.Υ.Ε. Γεωργική Στατιστική της Ελλάδος 1990-2001.
3. Καραγιάννης, Ε., 2003. Σημειώσεις Διάνοιξης Δάσους και Μεταφοράς του Ξύλου, Διδακτικές σημειώσεις, Θεσσαλονίκη, σελ. 37.
4. Καραρίζος, Π., Καραγιάννης, Ε., Εσκίογλου, Π., 2003. Ελκυστήρες με σύγχρονο εξοπλισμό σε εργασίες κατασκευής δασικών δρόμων και μετατόπισης του ξύλου. 3ο Πανελλήνιο Συνέδριο Γεωργικής Μηχανικής, Θεσσαλονίκη-Μάιος 2003.
5. Λάμπου, Ε., 2003. Εφαρμογή των χωματουργικών μηχανημάτων και μέσων μετατόπισης στις δασικές εργασίες, Μεταπτυχιακή Διατριβή.
6. Τσατσαρέλης, Κ.Α., 1997. Γεωργικοί Ελκυστήρες, Διδακτικό βιβλίο, Εκδόσεις Γιαχούδη, Θεσσαλονίκη, σελ. 35.

(116)

ΣΥΓΧΡΟΝΑ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΑ ΙΣΟΠΕΔΩΣΗΣ ΣΕ ΑΓΡΟΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ

Κ. Ζάννης[1α] , Δ. Μπόχτης[2], Ε. Λάμπου[1β] και Αθ. Καραγιάννης[1γ]
[1]Α.Π.Θ., Σχολή Δασολογίας & Φυσικού Περιβάλλοντος, 54 124 Θεσσαλονίκη,
[2]Α.Π.Θ., Γεωπονική Σχολή, 54 124 Θεσσαλονίκη,
[1α]zannis@act.edu, [2]dionmpo@agro.auth.gr, [1β]elampou@for.auth.gr,
[1γ]athkarag@for.auth.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εργασία αυτή υπολογίστηκε η απόδοση δύο διαφορετικών ελκυστήρων, M.F.6290 και FORD TW-25 σε εργασίες ισοπέδωσης με λέιζερ για τη σπορά ρυζιού στις περιοχές Αγ. Αθανασίου Θεσσαλονίκης και Σκούταρης Σερρών. Στην περιοχή Αγίου Αθανασίου χρησιμοποιήθηκε ο ελκυστήρας M.F.6290 ιπποδύναμης 135 Hp με λεπίδα μήκους 4 m για ισοπέδωση 0% αρχικής κλίσης ενώ στην περιοχή Σκούταρης ο ελκυστήρας FORD TW-25 ιπποδύναμης 155 Hp με λεπίδα μήκους 4,3 m για ισοπέδωση 0,5% αρχικής κλίσης. Από την επεξεργασία των στοιχείων προέκυψε ότι η απόδοση του πρώτου ελκυστήρα κυμάνθηκε από 4,14 - 4,6 στρ/h και του δεύτερου από 2,69 - 3,06 στρ/h.

MODERN LAND-LEVELING MACHINERY IN AGRICULTURAL WORKS

K. Zannis[1α], D. Bochtis[2], E. Lampou[1β] and Ath. Karagiannhs[1γ]
[1] Aristotle University of Thessaloniki,
School of Forestry and Natural Environment, 54124 Thessaloniki,
[2] Aristotle University of Thessaloniki, School of Agriculture, 54124 Thessaloniki,
[1α]zannis@act.edu, [2]dionmpo@agro.auth.gr, [1β]elampou@for.auth.gr,
[1γ]athkarag@for.auth.gr

ABSTRACT

In this paper is calculated the performance of two different tractors M.F.6290 and FORD TW-25, in laser Land Leveling for rice production in the areas of Ag. Athanasios-Thessaloniki and Skoutari-Serres. In the area of Ag. Athanasios an M.F.6290 tractor of 135 Hp with a 4 m blade was used at an initial slope of 0%. However in the area of Skoutari a FORD TW-25 tractor of 155 Hp with a 4,30 m blade was used at an initial slope of 0,5%. The results showed that the performance of the first tractor fluctuated between 0.41 – 0.46 ha/h and the performance of the second one fluctuated between 0,27 – 0,31 ha/h.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα μηχανήματα ισοπέδωσης είναι αυτοκινούμενα ή παρελκόμενα από γεωργικούς ελκυστήρες και μετατρέπονται σε ημιφερόμενα κατά τη διάρκεια της εργασίας. Τα σύγχρονα ισοπεδωτικά μηχανήματα χρησιμοποιούνται σε πλήθος χωματουργικών εργασιών μεταξύ των οποίων και σε εργασίες ισοπέδωσης αγροτικών εκτάσεων.

Τα τελευταία χρόνια τα μηχανήματα αυτά είναι εξοπλισμένα με κατάλληλες ηλεκτρονικές διατάξεις και έχουν τη δυνατότητα να εργάζονται με μεγάλη ακρίβεια. Οι ηλεκτρονικές αυτές διατάξεις αν και πολύπλοκες παρουσιάζουν εξαιρετικό ενδιαφέρον όχι μόνο για την ισοπέδωση αλλά και για άλλες γεωργικές εργασίες [4].

Η ανάγκη χρησιμοποίησης αυτών των μηχανημάτων είναι αποτέλεσμα του συνεχούς αυξανόμενου όγκου των εργασιών εντός καθορισμένου χρονικού ορίου (μικρή διαθέσιμη περίοδος για την ισοπέδωση σε συνδυασμό με μεγάλες εκτάσεις) ο οποίος συνοδεύεται από την απαίτηση της ποιότητας του έργου καθώς και του χαμηλού κόστους παραγωγής [4].

Η ισοπέδωση σαν καλλιεργητική τεχνική αύξησης της στρεμματικής απόδοσης, άρχισε να υλοποιείται την δεκαετία του ΄20. Το 1935 παρουσιάστηκε το πρώτο μηχάνημα ισοπέδωσης στις Η.Π.Α. ενώ το 1960 ξεκίνησε η μαζική χρήση της ισοπέδωσης σαν καλλιεργητική πρακτική στις Η.Π.Α. [9].

Η χρήση του Laser σαν μέσο βελτίωσης της ισοπέδωσης πρωτοεμφανίστηκε στις Η.Π.Α. το 1970 ενώ η ευρεία χρήση αυτού ξεκίνησε στις Η.Π.Α. τη δεκαετία του ΄80 και λίγα χρόνια αργότερα στην Ευρώπη. Στην Ελλάδα οι πρώτοι ισοπεδωτικοί μηχανισμοί με τη χρήση Laser έκαναν την εμφάνισή τους στην πεδιάδα της Θεσσαλονίκης το 1990 και από τότε χρησιμοποιούνται ευρέως [7].

Η ισοπέδωση με Laser ή ΄΄ισοπέδωση ακρίβειας΄΄ όπως ονομάζεται είναι μία καλλιεργητική πρακτική που πλέον χρησιμοποιείται σχεδόν αποκλειστικά στο σύνολο των εκτάσεων καλλιέργειας του ρυζιού και των εναλλασσόμενων αυτού καλλιεργειών (καλαμπόκι-βιομηχανική τομάτα-βαμβάκι-τριφύλλι) στις πεδιάδες των Νομών Θεσσαλονίκης και Σερρών [7].

Μελέτες που έγιναν σχετικά με την ισοπέδωση ακρίβειας έδειξαν τα εξής πλεονεκτήματα:

1) Καλύτερα ποσοστά φυτρωτικότητας του σπόρου, λόγω ομοιόμορφης σποράς και ομοιογενούς ωρίμανσης των καρπών [1].

2) Καλύτερο έλεγχο των ζιζανίων και αποτελεσματικότερη εφαρμογή των φαρμάκων και λιπασμάτων [8].

3) Αύξηση της διαθέσιμης καλλιεργούμενης έκτασης κατά 3-5% λόγω μείωσης των αναχωμάτων [9].

4) Μεγαλύτερη παραγωγή σε ορυζώνες με ισοπέδωση ακρίβειας κατά 40% σε σχέση με μη ισοπεδωμένους ορυζώνες [6].

5) Εδάφη με καλύτερα χαρακτηριστικά κατανομής του ύδατος, καλύτερη αποστράγγιση, καλύτερη κατανομή θρεπτικών στοιχείων και κατά συνέπεια καλύτερη θρέψη των φυτών και καλύτερα χαρακτηριστικά ξήρανσης [2] .

6) Εξοικονόμηση νερού και μείωση του κόστους παραγωγής κατά 6,3-15,4% σε καλλιέργειες βαμβακιού, καλαμποκιού [3] με ταυτόχρονη αύξηση της αρδευτικής απόδοσης μέχρι 50% [7].

7) Μείωση των εργατικών χεριών σε ποσοστό 50% σε σχέση με την ισοπέδωση με συμβατικές μεθόδους [5] .

Στην εργασία αυτή υπολογίστηκε η στρεμματική απόδοση δύο διαφορετικών ελκυστήρων σε εργασίες ισοπέδωσης για τη σπορά ρυζιού, στις περιοχές Αγ. Αθανασίου Θεσσαλονίκης και Σκούταρης Σερρών.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΣ

2.1 Υλικά

Τον Οκτώβριο του 2006 οριοθετήθηκαν και εγκαταστάθηκαν (4) τέσσερις πειραματικές επιφάνειες. Οι δύο (Α, Β) στην περιοχή Σκούταρης Σερρών και οι άλλες δυο (Γ, Δ) στην περιοχή Αγ. Αθανασίου Θεσσαλονίκης. Σε όλες τις πειραματικές επιφάνειες ήταν σε εξέλιξη εργασίες ισοπέδωσης για τη σπορά ρυζιού.

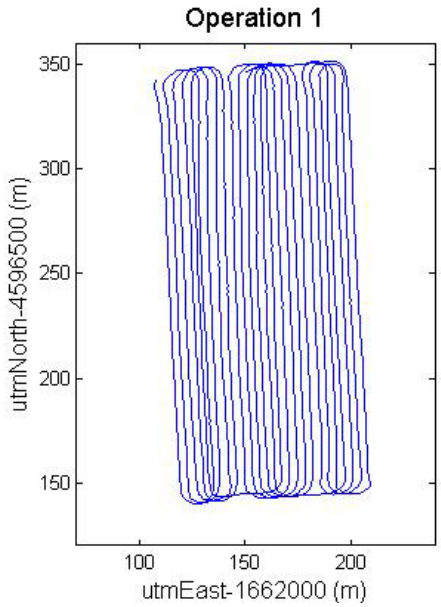
Συγκεκριμένα στην περιοχή Σκούταρης Σερρών οι πειραματικές επιφάνειες (Α, Β) που επιλέχθηκαν ήταν δύο μεμονωμένα γειτονικά αγροτεμάχια εκτάσεως 13.895 τ.μ και 9.705 τ.μ αντίστοιχα. Η κλίση του εδάφους των πειραματικών επιφανειών ήταν 0,5% λόγω της προηγούμενης καλλιέργειας καλαμποκιού και πριν την ισοπέδωση είχε προηγηθεί όργωμα. Η μηχανική σύσταση του εδάφους από δείγματα που ελήφθησαν και από τις δύο επιφάνειες έδωσε τα εξής αποτελέσματα α) άμμος 33,5% β) ιλύς 32,1% και γ) άργιλος 34,4%. Στις πειραματικές επιφάνειες Α και Β χρησιμοποιήθηκε ελκυστήρας τύπου FORD TW-25 ισχύος 155Hp. Στον ελκυστήρα προσαρμόσθηκε συρόμενη σκαφίδα με λεπίδα μήκους 4,3m η οποία φέρει ηλεκτρονικό δέκτη ακτίνων Laser τύπου Spectra Physics. Ο διαβιβαστής των ακτίνων Laser τύπου R2S-SA τοποθετήθηκε σε σημείο όπου καλυπτόταν οπτικά όλη η πειραματική επιφάνεια.

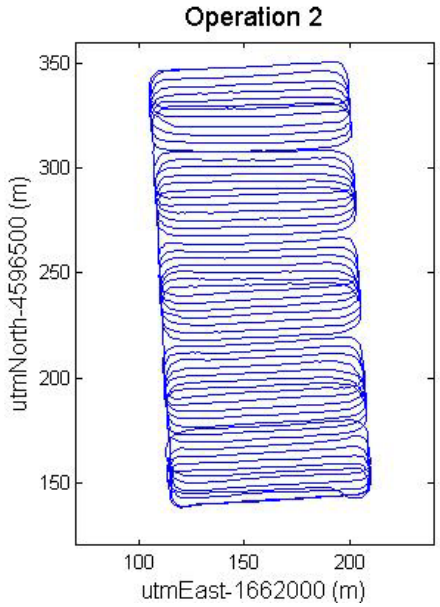
Στις πειραματικές επιφάνειες (Γ, Δ) εμβαδού 19.344 τ.μ και 11.821 τ.μ αντίστοιχα της περιοχής Αγ. Αθανασίου, η κλίση του εδάφους ήταν 0% λόγω της προηγούμενης καλλιέργειας ρυζιού. Πριν την ισοπέδωση στην επιφάνεια (Γ) είχε προηγηθεί κατεργασία με καλλιεργητή, ενώ στην επιφάνεια (Δ) όργωμα και καλλιεργητής. Η μηχανική σύσταση του εδάφους από δείγματα που ελήφθησαν έδωσε τα εξής αποτελέσματα: πειραματική επιφάνεια (Γ): άμμος 58,2%, ιλύς 25,5% και άργιλος 16,3%, πειραματική επιφάνεια (Δ): άμμος 52,7%, ιλύς 39,3% και άργιλος 8%. Στις πειραματικές επιφάνειες Γ και Δ χρησιμοποιήθηκε ελκυστήρας ισχύος 135Hp τύπου Massey Ferguson. Στον ελκυστήρα προσαρμόσθηκε σκαφίδα με λεπίδα μήκους 4m η οποία φέρει ηλεκτρονικό δέκτη ακτίνων Laser τύπου MIKROFYN. Ο διαβιβαστής ακτίνων Laser τύπου MIKROLASER ML-4 τοποθετήθηκε σε σημείο όπου καλυπτόταν οπτικά όλη η πειραματική επιφάνεια.

Για την εμβαδομέτρηση των πειραματικών επιφανειών (Α, Β, Γ, Δ) χρησιμοποιήθηκε Total Station τύπου Leica TC 805. Οι φάσεις ισοπέδωσης χρονομετρήθηκαν με χρονόμετρο χειρός τύπου Meridian, ενώ πλήρης καταγραφή της πορείας του ελκυστήρα έγινε στις επιφάνειες (Γ, Δ) με την εγκατάσταση σε αυτόν GPS ακρίβειας συνδεδεμένο με φορητό Η/Υ.

2.2 Μέθοδος εργασίας

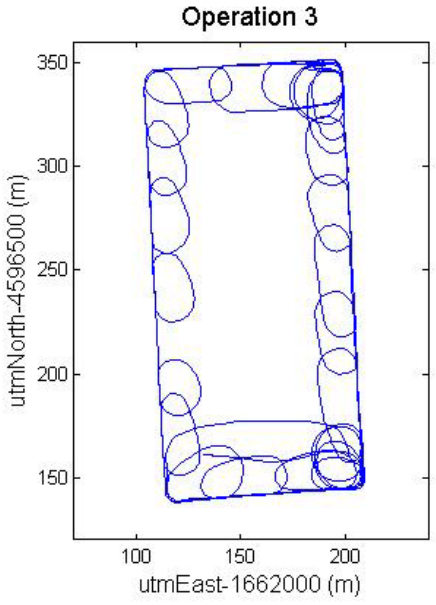
Η λήψη των στοιχείων για τον υπολογισμό της ωριαίας πραγματικής απόδοσης σε όλες τις πειραματικές επιφάνειες (Α, Β, Γ, Δ) έγινε με τη μέθοδο των χρονικών σπουδών. Ο διαχωρισμός των φάσεων ισοπέδωσης έγινε με βάση τη διεύθυνση κίνησης του ελκυστήρα ο οποίος κινούμενος παράλληλα είτε κατά μήκος (Χ), είτε κατά πλάτος (Υ) και κατά ορθογώνιες λωρίδες σάρωνε το σύνολο της επιφάνειας, (φάσεις 1,2,4) ενώ κινούμενος ενδιάμεσα σπειροειδώς (φάση 3) σάρωνε το περίγραμμα της πειραματικής επιφάνειας.

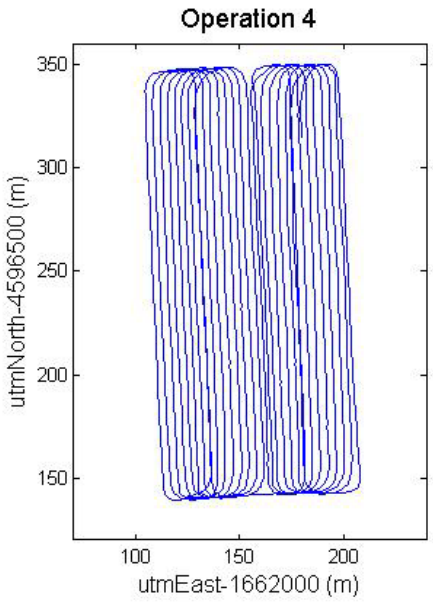




Σχήμα 1. Αρχική φάση ισοπέδωσης- κίνηση κατά μήκος Χ της επιφάνειας

Σχήμα 2. Αρχική φάση ισοπέδωσης- κίνηση κατά πλάτος (Υ) της επιφάνειας





Σχήμα 3. Περιμετρική ισοπέδωση (Π)

Σχήμα 4. Τελική φάση ισοπέδωσης, κίνηση κατά μήκος (Χτ) ή κατά πλάτος (Υτ)

Κάθε φάση κωδικοποιήθηκε και χρονομετρήθηκε χωριστά. Επιπλέον μετρήθηκαν ο συνολικός χρόνος των καθυστερήσεων καθώς και ο χρόνος ισοπέδωσης των γωνιών. Επιπρόσθετα μόνο στις πειραματικές επιφάνειες Γ και Δ μετρήθηκε και καταγράφηκε μέσω του GPS ακριβείας ο αριθμός των παράλληλων διαδρομών καθώς και η συνολική

διανυόμενη απόσταση κατά φάση. Η χρήση του GPS ακριβείας βοήθησε στον υπολογισμό της μέσης ταχύτητας του μηχανήματος κατά φάση ισοπέδωσης καθώς και στον προσδιορισμό της στρεμματικής απόδοσης του συγκεκριμένου μηχανήματος. Ο συνολικός αριθμός των φάσεων καθώς και ο χρονικός προσδιορισμός του τέλους της τελευταίας φάσης καθορίστηκε από το κριτήριο της ΄΄ελάχιστα αποδεκτής΄΄ ποιότητας της ισοπέδωσης. Σύμφωνα με αυτό το κριτήριο η σκαφίδα κινούμενη με τη βοήθεια του ελκυστήρα κατά μήκος της πειραματικής επιφάνειας δεν μεταβάλλει (πληρώνει ή εναποθέτει) τον όγκο των χωμάτων που μεταφέρει. Μετά το τέλος των εργασιών για την επαλήθευση του ανωτέρου κριτηρίου, χρησιμοποιήθηκε ψηφιακός δέκτης προσαρμοσμένος σε χειροκίνητο ιστό. Μετρώντας σε τυχαία σημεία της επιφάνειας βρέθηκε ότι η υψομετρική διαφορά δεν ξεπερνούσε τα ± 2cm όπως έχει οριστεί σύμφωνα με τα διεθνή πρότυπα [3]. Ο συνολικά απαιτούμενος χρόνος σαν αποτέλεσμα του αθροίσματος των επιμέρους χρόνων κατά φάση σε συνάρτηση με το εμβαδό της ισοπέδωσης, προσδιόρισε την ωριαία παραγωγική ικανότητα του κάθε ελκυστήρα.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Από την επεξεργασία όλων των στοιχείων των χρονικών σπουδών στις πειραματικές επιφάνειες (Α, Β) και (Γ, Δ) προέκυψαν τα αποτελέσματα που φαίνονται στους πίνακες 1, 2 και 3.

Στον πίνακα 1 φαίνονται η χρονική διάρκεια των φάσεων καθώς και η συνολική και κατά φάση απόδοση.

Πίνακας 1. Απόδοση του ελκυστήρα FORD TW 25 στις πειραματικές επιφάνειες Α & Β (αρχικής κλίσης 0,5%-τελικής κλίσης 0%)

	Πειρ.Επιφάνεια Α (13.895 m^2)			Πειρ. Επιφάνεια Β (9.750 m^2)		
Προηγούμενη κατεργασία		Όργωμα			Όργωμα	
Φάσεις	Χρόνος (h)	Απόδοση (στρ/h)		Χρόνος (h)	Απόδοση (στρ/h)	
1	1,18	11,77		0,83	11,74	
2	1,25	11,17		0,85	11,47	
3	0,7	-		0,43	-	
4	1,33	10,44		0,87	11,20	
Διαμόρφωση γωνιών	0,23	-		-	-	
Καθυστερήσεις	0,46	-		0,21	-	
Συνολικός χρόνος	5,16	-		3,19	-	
Συνολική μέση απόδοση	-	-	2,69	-	-	3,06

Στους πίνακες 2 και 3 φαίνονται κατά φάσεις: η απόδοση, η διάταξη και ο αριθμός των διαδρομών, η διανυθείσα απόσταση, η μέση ταχύτητα καθώς και η συνολική μέση απόδοση

Πίνακας 2. Απόδοση του ελκυστήρα M.F. 6290 στη πειραματική επιφάνεια Γ (αρχικής κλίσης 0%-τελικής κλίσης 0%) *με χρήση GPS ακριβείας

				Πειραματική επιφάνεια Γ (19.344m^2)			
Προηγούμενη κατεργασία				Καλλιεργητής			
Φάσεις	Κίνηση	Χρόνος (h)	Διανυθείσα απόσταση (Km)	Μέση ταχύτητα (Km/h)	Αριθμός διαδρομών	Απόδοση (στρ/h)	
1	Χ	1,03	5,7	5,53	26	18,78	
2	Υ	1,21	7,23	5,94	64	15,98	
3	Π	0,63	3,42	5,44	-	-	
4	Χτ	1,15	7,16	6,2	32	16,82	
Διαμόρφωση γωνιών		-	-	-	-	-	
Καθυστερήσεις		0,18	-	-	-	-	
Σύνολα		4,2	23,51	5,6	-	-	
Συνολική μέση απόδοση		-	-	-	-	-	4,6

Πίνακας 3. Απόδοση του ελκυστήρα M.F. 6290 στη πειραματική επιφάνεια Δ (αρχικής κλίσης 0%-τελικής κλίσης 0%) *με χρήση GPS ακριβείας

				Πειραματική επιφάνεια Δ (11.821m^2)			
Προηγούμενη κατεργασία				Όργωμα & Καλλιεργητής			
Φάσεις	Κίνηση	Χρόνος (h)	Διανυθείσα απόσταση (Km)	Μέση ταχύτητα (Km/h)	Αριθμός διαδρομών	Απόδοση (στρ/h)	
1	Χ	0,73	3,48	4,77	33	1619	
2	Υ	0,78	4,12	5,27	34	15,15	
3	Π	0,33	4,16	6,50	-	-	
4	Υτ	0,76	4,05	5,32	41	15,55	
Διαμόρφωση γωνιών		0,13	-	-	-	-	
Καθυστερήσεις		0,12	-	-	-	-	
Σύνολα		2,85	13,81	4,82	-	-	
Συνολική μέση απόδοση		-	-	-	-	-	4,14

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από την μελέτη των στοιχείων των πινάκων 1, 2 και 3 προέκυψαν τα παρακάτω συμπεράσματα:

Επιφάνειες (Α και Β) :

1) Η συνολική μέση απόδοση του ελκυστήρα FORD-TW-25 φαίνεται να είναι μεγαλύτερη στην πειραματική επιφάνεια Β. Η διαφορά προέκυψε από τον χρόνο που απαιτήθηκε για τη διαμόρφωση των γωνιών στην επιφάνεια Α καθώς και από τον επιπλέον χρόνο των καθυστερήσεων του μηχανήματος, σε σχέση με την επιφάνεια Β.

2) Η συνολική μέση απόδοση του μηχανήματος επηρεάζεται σημαντικά από την προοδευτική αύξηση του χρόνου από τη φάση 1 έως και 4. Η φάση 4 είναι τελική και απαιτούνται περισσότερες περιφορές για την επιδιωκόμενη διαμόρφωση.

Επιφάνειες (Γ και Δ) :

1) Η συνολική μέση απόδοση του ελκυστήρα M.F. 6290 είναι μεγαλύτερη στην πειραματική επιφάνεια Γ. Η διαφορά που προκύπτει οφείλεται α) στη διαφορετική προηγούμενη κατεργασία των επιφανειών, β) στη διαφορετική διάταξη κίνησης (Χ ή Υ) του ελκυστήρα κατά τις φάσεις (1, 2 και 4) και γ) στον επιπλέον χρόνο που απαιτήθηκε για τη διαμόρφωση των γωνιών.

2) Η διάρκεια του χρόνου εργασίας στη φάση 4 καθώς και η αύξηση των περιφορών του μηχανήματος είναι καθοριστικός παράγοντας για τον προσδιορισμό της απόδοσης.

Γενικότερα σε όλα τα πειράματα Α, Β, Γ και Δ μπορούμε να πούμε ότι:

1) Η κατηγορία του μηχανήματος (τύπος, ιπποδύναμη, μέγεθος λεπίδας) και ο συνολικός χρόνος που απαιτείται για το παραγόμενο έργο, είναι βασικοί παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση, στις εργασίες ισοπέδωσης.

2) Η ανάγκη ισοπέδωσης ή μη των γωνιών, οι καθυστερήσεις, καθώς και το είδος της κατεργασίας (όργωμα ή όργωμα και καλλιεργητής), επηρεάζουν την τελική απόδοση της ισοπέδωσης.

3) Ο προσδιορισμός της ταχύτητας ισοπέδωσης κατά φάση, σε συνάρτηση με την καταγραφή των διατάξεων των διαδρομών των φάσεων, δίνει τη δυνατότητα του σωστού προγραμματισμού της οικονομικά άριστης απόδοσης των μηχανημάτων στις εργασίες ισοπέδωσης.

4) Η χρήση του GPS ακριβείας σε συνδυασμό με το σύστημα πλοήγησης ασφαλώς μειώνει το ποσοστό αλληλοεπικάλυψης και αυξάνει την απόδοση της ισοπέδωσης.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Anbumonzhi, A., Yamazi, E. and Tabuchi, T., 1998. Rice crop growth and yield as influenced by changes in ponding water depth, water regime and fertilization level. Agricultural water management 37, p. 241-253.
2. Agarwal, M. C. and Goel, A.C., 1981. Effect of field levelling quality on irrigation efficiency and crop yield, Agricultural Water Management 4 (1981) p.457-464.
3. Fangmeier, D.D., Clemens, A.J., Ansary, M.Ei., 1999. Influence of Land Leveling Precision on level-basing advance and performance. Translations of ASAE Vol. 42 (4) : 1019-1025.
4. Karagiannis, E., Kararizos, P. and Karagiannis, A., 2006. Application of modern automated machines in forest opening-up works. International Conference ″Sustainable Management and Development of Mountainous and Island Areas″, in Naxos Island, Department of Forestry and Management of the Environment and Natural Resources, Proceedings Volume2, P.241-246, Orestiada, Greece.
5. Laughlin, D., 2000. Rice Planning budgets Agric. Econ. Rep 118, Mississippi Agric and Forestry Exp., Mississippi State
6. Muhamad, Asif, Manzoor Ahmed, 2003. Wheat & Rice Productivity, Land and Water use efficiency by traditional Laser Land-leveling Techniques online Journal of Biological Sciences 3 (2): 141-146.
7. Πανώρας, Αθ., Μαυρουδής, Ι., Χατζηγιαννάκης., 1993. Εφαρμογή της ισοπέδωσης με Laser στην πεδιάδα Θεσσαλονίκης, Γεωτεχνικά Επιστημονικά Θέματα, Τόμος 4, Τεύχος 4.
8. Rickman, J.F., 2002. Manual for Laser Land leveling, National Agricultural Technology Project, Indian council of Agricultural Research.
9. Williams, J., 2004. Rice Land Formation, California Rice Production, Workshop, January.

(124)

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΑΝΑΠΤΥΣΣΟΜΕΝΗΣ ΕΛΞΗΣ ΚΑΙ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ ΜΕ ΟΜΟΙΩΜΑ ΤΡΟΧΟΦΟΡΟΥ ΕΛΚΥΣΤΗΡΑ

Θ.Α. Γιαλαμας[1α], Ι. Γραβαλος[1], Α . Ανδρέου[1], Σ. Τσάντζος[1]. Δ. Κατέρης[1], Κ.Α. Τσατσαρέλης[2], Θ. Α. Γέμτος[3].

[1]Εργ. Μηχανικής Οχημάτων Ανωμάλων Εδαφών. Τομέας Γ. Μηχανικής Τμ. Γ. Μηχ. & Αρδεύσεων. Σ.ΤΕ.Γ Α.Τ.Ε.Ι. Λάρισας. Τ.Κ.41110 Λάρισα, [α] e-mail: gialamas@teilar.gr

[2]Εργ. Γεωργικής Μηχανολογίας. Σχ. Γεωπονίας. Α.Π.Θ., 54124, Θεσσαλονίκη.

[3]Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Γεωπονίας, Φυτ. Παρ/γης και Αγρ. Περιβάλλοντος, Εργ. Γεωργικής Μηχανολογίας. Οδός Φυτόκου, Ν. Ιωνία Μαγνησίας, Τ.Κ.38446.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην πειραματική αυτή εργασία γίνεται εφαρμογή της μεθόδου της στρεπτικής καταπόνησης (πίεσης) του εδάφους, με τη βοήθεια διατμητικού κιβωτίου, με σκοπό την πρόβλεψη των αναπτυσσομένων διατμητικών δυνάμεων, αλλά και της ολίσθησης που παρατηρείται κατά τη διάρκεια της έλξης γεωργικών μηχανημάτων, από τους γεωργικούς ελκυστήρες. Ο προσδιορισμός του συντελεστή παραμόρφωσης του εδάφους (K) πραγματοποιείται με την εκτέλεση δοκιμών σε εδαφολεκάνη, όπου τοποθετείται έδαφος στο οποίο έχει γίνει προηγουμένως προσδιορισμός της περιεχόμενης υγρασίας, της μηχανικής σύστασης και του φαινόμενου ειδικού βάρους.

EXPERIMENTAL DETERMINATION OF SHEARING FORCE AND SLIPPING BY TEMPLATE OF WHEELED TRACTOR

TH. A. Gialamas[1a], I. Gravalos[1], A. Andreou[1], S. Tsantzos[1], D.L. Kateris[1], K.A. Tsatsarelis[2], TH. A. Gemtos[3].

[1]Lab. of Off-Road Equipment, Sect. of Agr. Mechanics, Dept. of Agr. Eng. & Irrigation, Sch. of Agr., TEI of Larissa, 41110, Larissa, Greece, [α] e-mail: gialamas@teilar.gr

[2] Laboratory for Agricultural Engineering, Aristotle University of Thessaloniki, 54124 Thessaloniki.

[3]Laboratory of Farm Mechanization Dep. Of Agriculture, Crop Production and Rural Environment, Univ.of Thessaly.

ABSTRACT

In this experimental study the method of torsional stress (pressure) of the soil is applied with the contribution of shearing box, aiming at the prediction of the developing shearing forces and the slipping that is observed during the traction of agricultural machinery, by the tractors. Determination of the distortion coefficient (K) of a specific type of soil is actualized with the implementation of tests in a soil bin where the mechanical composition, the bulk density and the moisture of the soil is previously specified.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να προσδιοριστεί ο συντελεστής παραμόρφωσης του εδάφους, το μέγεθος της ελκτικής δύναμης που αναπτύσσει ένας τροχοφόρος γεωργικός ελκυστήρας, η τριβή κύλισης, η ολίσθηση καθώς και να γίνει πρόβλεψη των αναπτυσσομένων διατμητικών δυνάμεων κατά την εκτέλεση της εργασίας του με παρελκόμενα γεωργικά μηχανήματα. Αυτό επιτυγχάνεται με τη βοήθεια δοκιμών με πειραματικό όχημα σε εδαφολεκάνη με καθορισμένο έδαφος [1,2] και με εφαρμογή της μεθόδου της στρεπτικής καταπόνησης (πίεσης) του εδάφους, με τη βοήθεια διατμητικού κιβωτίου [1,2,3]. Στο έδαφος γίνεται ανάλυση για τον προσδιορισμό της μηχανικής του σύστασης, του φαινόμενου ειδικού βάρους και της περιεχόμενης υγρασίας του [4, 9]. Συγκεκριμένα στο έδαφος που θα πραγματοποιηθούν οι δοκιμές είναι αργιλλοπηλώδες. Η πρόβλεψη του μεγέθους της ελκτικής δύναμης σε ένα τροχοφόρο γεωργικό ελκυστήρα ο οποίος κινείται σε καθορισμένο έδαφος, μπορεί να πραγματοποιηθεί με τη μέθοδο του διατμητικού κιβωτίου [6, 8, 9] και να περιγραφεί από απλές μαθηματικές εξισώσεις οι οποίες στηρίζονται στις ιδιότητες του εδάφους, με προσδιορισμό της μέγιστης διατμητικής τάσης που εφαρμόστηκε από τη σχέση (1), του Coulomb.

$$\tau m = c\alpha + \sigma \,.\, \tan\varphi \qquad (1)$$

όπου: τ_m = μέγιστη διατμητική τάση σε (N/m^2), c_α = συντελεστής συνάφειας, σ = αναπτυσσόμενη τάση στο έδαφος από το βάρος του τροχοφόρου ελκυστήρα, tanφ = συντελεστής τριβής μεταξύ του επιφάνειας του τροχού και του εδάφους. Για τον προσδιορισμό της διατμητικής τάσης, χρησιμοποιείται η εξίσωση (2), η οποία είναι εκθετικής μορφής και παρουσιάζει μεγάλη προσέγγιση στα χαρακτηριστικά της δύναμης προς την παραμόρφωση του εδάφους.

$$\tau = \tau m \,(\, 1 - e - j/K \,) \qquad (2)$$

όπου : τ_m = μέγιστη διατμητική τάση σε (N/m^2), $j = \Delta l \,/\, l$ = ανηγμένη μετατόπιση, Δl= μετατόπιση των τροχών λόγω πρόσθετης δύναμης στην έλξη, l = μήκος κίνησης του τροχού και K= συντελεστής παραμόρφωσης του εδάφους.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Ο προσδιορισμός του συντελεστή παραμόρφωσης του εδάφους με τη βοήθεια πειραματικού οχήματος τροχοφόρου γεωργικού ελκυστήρα (γ.ε.), πραγματοποιείται σε μία εδαφολεκάνη η οποία έχει τις εξής διαστάσεις: πλάτος 1,10 m, μήκος 5,0 m, και ύψος 0,30 m. Στην εδαφολεκάνη τοποθετείται εδαφικό υπόστρωμα (έδαφος) στο οποίο πραγματοποιείται ανάλυση για τον προσδιορισμό της μηχανικής σύστασης του φαινόμενου ειδικού βάρους και της περιεχόμενης υγρασίας. Το έδαφος θρυμματίζεται κατάλληλα, τοποθετείται στην εδαφολεκάνη μέχρι ύψος 0,15 m, ισοπεδώνεται και συμπιέζεται με τη χρήση κατάλληλων εργαλείων πριν από κάθε δοκιμή, ώστε να διατηρηθεί η κατάστασή του σταθερή σε όλες τις διαδοχικές δοκιμές. Πάνω στο έδαφος τοποθετείται το ομοίωμα ενός πειραματικού τροχοφόρου ελκυστήρα ο οποίος έχει διαστάσεις πλάτος 0,65 m, μήκος 1,05 m, ύψος 0,33 m και κινείται με τη βοήθεια ενός ηλεκτροκινητήρα. Το βάρος του είναι 90 kg, Η περίμετρος των τροχών είναι 1,04 m και το πλάτος του κάθε τροχού είναι 0,105 m. Στο πρόσθιο τμήμα του τροχοφόρου ελκυστήρα, υπάρχει ειδική μεταλλική βάση για την τοποθέτηση πρόσθετου φορτίου βάρους 8,0 kg. Το φορτίο αυτό έχει την δυνατότητα μετατόπισης σε οριζόντια απόσταση από 0 μέχρι 0,35 m, με σκοπό να μεταβάλλεται η κατανομή της δύναμης πίεσης στον πρόσθιο άξονα του τροχού κατά τη διάρκεια των δοκιμών. Ο τροχοφόρος ελκυστήρας φορτίζεται κατά τις δοκιμές, μέσω συστήματος συρματόσχοινου και τροχαλιών, με βάρη από 10 έως 50 Kg.Τα βάρη θεωρούνται ως αντιστάσεις στην κίνηση του, δηλαδή

προσομοιάζουν την αντίσταση που εξασκεί το έδαφος στην κίνηση παρελκομένων γεωργικών μηχανημάτων. Στο πίσω μέρος του τροχοφόρου ελκυστήρα υπάρχει ειδικός καταγραφικός μηχανισμός, Η καταγραφή βοηθά στον προσδιορισμό της ολίσθησης. Η πρώτη διαδρομή των δοκιμών πραγματοποιείται χωρίς φόρτιση και καταγράφεται το διανυόμενο μήκος. Στις επόμενες διαδρομές τοποθετούνται διαδοχικά βάρη τόσο στο πρόσθιο όσο και στο οπίσθιο μέρος, επιτυγχάνοντας έτσι διαφορετική φόρτιση του τροχοφόρου ελκυστήρα και καταγράφονται τα διανυόμενα μήκη. Για τον υπολογισμό της σταθεράς K η μέθοδος που χρησιμοποιείται είναι η μέθοδος της στρεπτικής πίεσης [1,2.]. Τα όργανα που απαιτούνται είναι: α) ροπόμετρο, β) γωνιόμετρο και γ) το διατμητικό κιβώτιο. Το ροπόμετρο αποτελείται από μια ράβδο κατακόρυφη κυκλικής διατομής η οποία στο ένα άκρο συνδέεται με μια επίπεδη επιφάνεια για την τοποθέτηση των βαρών και μία οριζόντια ράβδο κυκλικής διατομής συνδεδεμένη κάθετα στην κατακόρυφη ράβδο στο επάνω μέρος της. Η οριζόντια ράβδος έχει στο άκρο της προσαρμοσμένο ένα ειδικό δυναμόμετρο και το μήκος της είναι l = 0,5 m. Το ροπόμετρο τοποθετείται σε ειδική υποδοχή στο κέντρο του διατμητικού κιβωτίου που είναι τοποθετημένο μέσα στο έδαφος. Η εξωτερική ακτίνα, του διατμητικού κιβωτίου είναι re = 0,077 m και η εσωτερική ακτίνα του είναι ri = 0,062 m.

3. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ-ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Ο υπολογισμός του συντελεστή παραμόρφωσης του εδάφους K, εξαρτάται από την επιφάνεια επαφής των τροχών, από το έδαφος, καθώς και από τη συμπίεση που έχει υποστεί.

3.1. Υπολογισμός της δύναμης στρέψης συναρτήσει της γωνίας διάτμησης και του κατακόρυφου φορτίου στο διατμητικό κιβώτιο

Γίνεται εφαρμογή της μεθόδου του διατμητικού κιβωτίου στο έδαφος της εδαφολεκάνης με επαναληπτικές δοκιμές. Τα τελικά αποτελέσματα των μετρήσεων των δοκιμών παρατίθενται στους πίνακες 1 και 2.

Πίνακας 1. Μέτρηση της αναπτυσσόμενης δύναμης στρέψης συναρτήσει της γωνίας διάτμησης και του κατακόρυφου φορτίου στο διατμητικό κιβώτιο.

α/α	Βάρος συσκευής (Kg)	Γωνία Α (Θ^o)	Δύναμη Α (N)	Γωνία Β (Θ^o)	Δύναμη Β (N)
1	14,10	5°	26,192	10°	28,449
2	24,10	5°	43,850	10°	45,420
3	34,10	5°	53,268	10°	59,154
4	44,10	5°	57,879	10°	67,002
5	54,10	5°	71,907	10°	80,736

Στη συνέχεια υπολογίζεται η ροπή (M_D) για κάθε περίπτωση, η ανηγμένη ροπή στρέψης B η οποία δίνεται από την σχέση: $B= M_{Di} / M_{Dmax}$, όπου: M_{Di} είναι οι επιμέρους ροπές δοκιμής και M_{Dmax} είναι η μέγιστη ροπή διάτμησης και ο παράγοντας J_θ με την βοήθεια του οποίου μπορεί να υπολογιστεί ο συντελεστής παραμόρφωσης του εδάφους K. Όλοι οι προηγούμενοι παράμετροι υπολογίζονται για κάθε ένα από τα φορτία που τοποθετήθηκαν στην έλξη (πίνακας 1). Τα αποτελέσματα των δοκιμών παρουσιάζονται στους πίνακες 3, 4 και 5.

Πίνακας 2. Μέτρηση της γωνίας και της δύναμης διάτμησης στο διατμητικό κιβώτιο.

α/α	Γωνία Γ (Θ^o)	Δύναμη Γ (N)	Γωνία Διάτμησης (Θ^o)	Μέσος Όρος Γωνίας Διάτμησης	Μέσος Όρος Δύναμης Διάτμησης (N)
1	15°	31,392	18° 18°	$18,0^o$	32,373
2	15°	46,107	20° 19°	$19,0^o$	54,445
3	15°	64,451	22° 21°	$21,5^o$	66,021
4	15°	70,920	22° 22°	$22,0^o$	75,242
5	15°	92,900	24° 23°	$23,0^o$	97,119

Πίνακας 3. Υπολογισμός του συντελεστή παραμόρφωσης του εδάφους K.

A/A	Για $\Theta=5^o$ (A)	Για $\Theta=10^o$ (B)
	M_D (Nm) B J_θ K	M_D (Nm) B J_θ K
1	13,096 0,7999 2,30 0,134	14,224 0,8698 2,95 0,210
2	21,925 0,8054 2,35 0,131	22,710 0,8342 2,60 0,238
3	26,634 0,8068 2,35 0,131	29,577 0,8960 3,35 0,185
4	28,939 0,7468 1,95 0,158	35,501 0,8645 2,90 0,213
5	35,953 0,7404 1,90 0,163	40,368 0,8313 2,55 0,243

Πίνακας 4. Υπολογισμός του συντελεστή παραμόρφωσης του εδάφους K, συναρτήσει της μέγιστης γωνίας διάτμησης.

α/α	Για $\Theta=15^o$ (Γ)	Για Θ=Γωνία Διάτμησης (m)	M.O ki
	M_D (Nm) B J_θ K	$M_{Dm(}$ Nm) B J_θ K	
1	15,696 0,9587 5,00 0,186	16,371 1 10 0,111	0,160
2	23,053 0,8468 2,70 0,344	27,222 1 10 0,136	0,212
3	32,225 0,9762 6,20 0,150	33,010 1 10 0,117	0,145
4	35,463 0,9151 3,70 0,251	28,749 1 10 0,133	0,188
5	46,450 0,9565 4,90 0,189	48,559 1 10 0,177	0,193

3.2. Υπολογισμός των δυνάμεων και μετατοπίσεων

Μετά την προετοιμασία του εδάφους τίθεται σε κίνηση ο τροχοφόρος ελκυστήρας ώστε να κινηθεί στο στίβο της εδαφολεκάνης τρεις έως τέσσερις φορές. Το χρησιμοποιούμενο φορτίο στην έλξη τοποθετείται σε άγκιστρο που βρίσκεται μέσα σε μεταλλικό δικτυωτό πλαίσιο. Μετά από συγκεκριμένο χρόνο κίνησης t = 10 s, ο τροχοφόρος ελκυστήρας ακινητοποιείται και γίνεται η επόμενη δοκιμή. Οι δυνάμεις που αναπτύσσονται μεταξύ των τροχών και του εδάφους είναι διατμητικές και υπολογίζονται από την σχέση 3:

$$\tau = F/A \quad (3)$$

όπου: τ η διατμητική τάση σε N/m^2, F η δύναμη έλξεως (N) και A η ενεργός επιφάνεια των κινητήριων τροχών η οποία υπολογίζεται από την σχέση $A=4 \cdot b \cdot L \times 0,78$, όπου: b το

πλάτος του τροχού b = 0,105 m και L το ενεργό μήκος επαφής του τροχού L=0,145 m. Η ανηγμένη μετατόπιση j υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση:

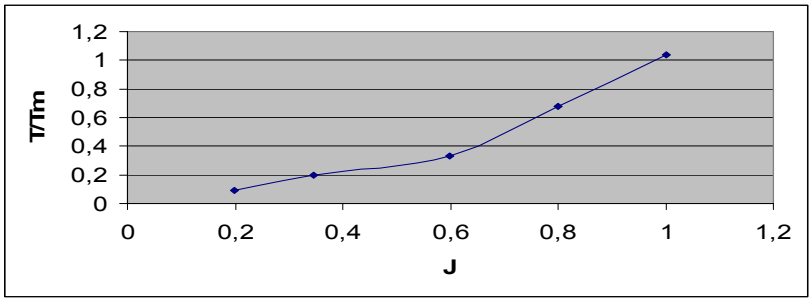
$$j = \Delta l / l \qquad (4)$$

όπου: Δl είναι η ολική μετατόπιση του τροχού λόγω της πρόσθετης δύναμης στην έλξη και I είναι το διανυόμενο ενεργό μήκος του τροχού.

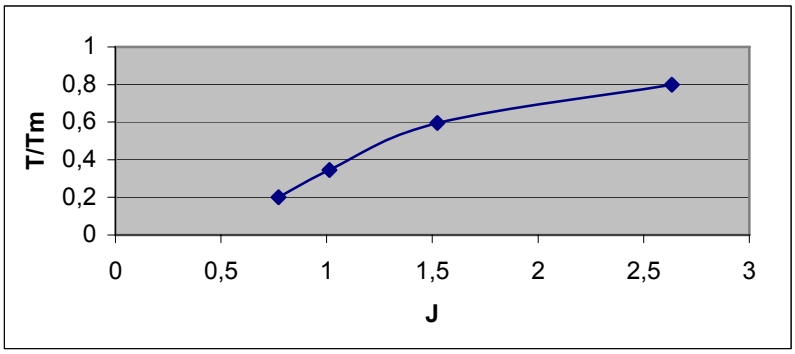
Πίνακας 5. Αποτελέσματα δοκιμής αντοχής του εδάφους σε διάτμηση με τη μέθοδο του διατμητικού κιβωτίου.

Κατ/ρυφα Φορτία (N)	Θ=5°		Θ=10°		Θ=15°		Γωνία διάτμησης	
	T (N/m²)	J_Θ	T (N/m²)	J_Θ	T (N/m²)	J_Θ	T (N/m²)	$J_{\Theta m}$
138,2	26249,6	2,30	28510.5	2,95	31461.0	5,00	32814,03	10
236,4	43946,4	2,35	45519.9	2,60	46207.4	2,70	54563,7	10
334,5	53385,1	2,35	59224.5	3,35	64591.7	6,20	66165,2	10
432,6	58005,3	1,95	71158.2	2,90	71082.0	3,70	77668,4	10
530,7	72064,1	1,90	80913.6	2,55	93104.3	4,90	97331,6	10
(N)	Μερικές Δυνάμεις στροφής (N)						Δυνάμεις Διάτμησης	Γων. Διατ
138,2	26,192		28,449		31,392		32,373	18,0°
236,4	43,850		45,420		46,107		54,445	19,0°
334,5	53,268		59,154		64,451		66,021	21,5°
432,6	57,879		67,002		70,926		77,499	22,0°
530,7	71,907		80,736		92,900		97,119	23,0°

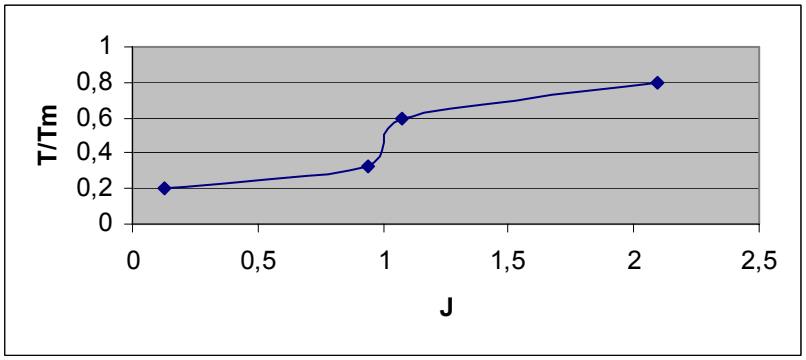
Στις εικόνες 1, 2, 3, και 4 φαίνεται η μεταβολή του λόγου της διατμητικής τάσης (T/T_m) ως προς την ανηγμένη επιμήκυνση j.



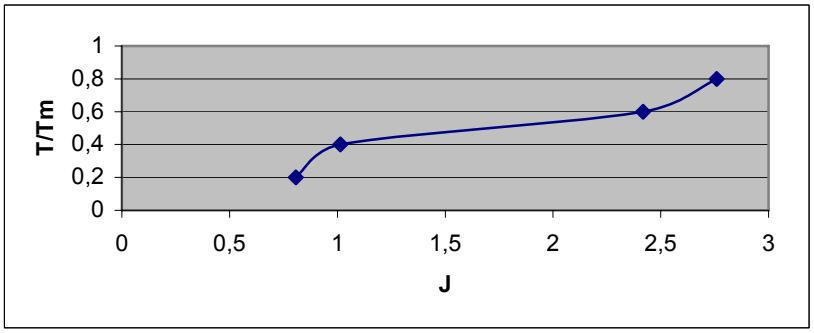
Εικόνα 1. Κατανομή διατμητικής τάσης και ανηγμένης επιμήκυνσης χωρίς πρόσθετο κατακόρυφο φορτίο εμπρός και φορτίο στην έλξη.



Εικόνα 2. Κατανομή διατμητικής τάσης και ανηγμένης επιμήκυνσης με πρόσθετο κατακόρυφο φορτίο 8 Kg εμπρός σε απόσταση 0,11 m και φορτίο στην έλξη.



Εικόνα 3. Κατανομή διατμητικής τάσης και ανηγμένης επιμήκυνσης με πρόσθετο κατακόρυφο φορτίο 8 Kg εμπρός σε απόσταση 0,22 m και φορτίο στην έλξη.



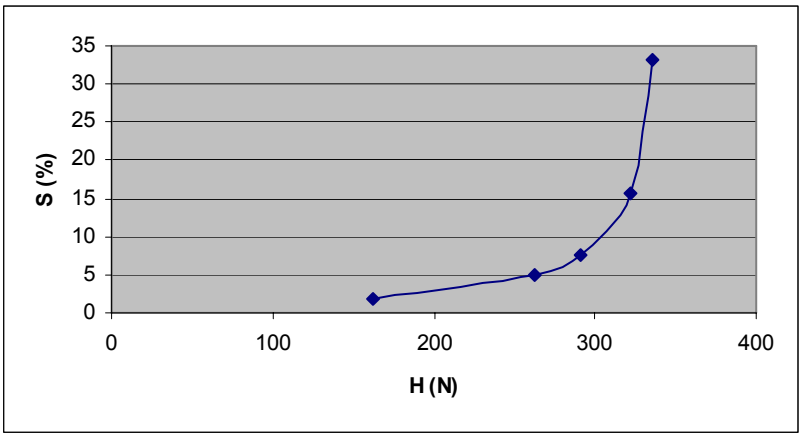
Εικόνα 4. Κατανομή διατμητικής τάσης και ανηγμένης επιμήκυνσης με πρόσθετο κατακόρυφο φορτίο 8 Kg εμπρός σε απόσταση 0,33 m και φορτίο στην έλξη.

3.3. Μέτρηση ολίσθησης

Προσδιορίζεται η ολίσθηση του τροχοφόρου γεωργικού ελκυστήρα χωρίς κατακόρυφο φορτίο και με κατακόρυφο φορτίο στο πρόσθιο μέρος του, σε τρεις διαφορετικές θέσεις. Συνολικά θα υπάρχουν τέσσερις περιπτώσεις δοκιμών για τον υπολογισμό της ολίσθησης. Για κάθε περίπτωση τοποθετούνται διαδοχικά φορτία στην οριζόντια έλξη του τροχοφόρου ελκυστήρα τα οποία αυξάνονται διαδοχικά [4,5,6]. Τα

διαφορετικά φορτία που χρησιμοποιούνται στην έλξη για κάθε δοκιμή επηρεάζουν το μέγεθος της αντίδρασης R στο σημείο επαφής των τροχών με το έδαφος.

Εικόνα 5. Ομοίωμα τροχοφόρου ελκυστήρα κατά τη διάρκεια των δοκιμών.



Εικόνα 6. Ώθηση και ολίσθηση του ελκυστήρα κατά τη διάρκεια δοκιμών με πρόσθιο φορτίο W=8kg σε απόσταση Z= 0,

4. ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- Από τα παραπάνω διαπιστώνεται ότι υπάρχει δυνατότητα σύγκρισης της πρόβλεψης του συντελεστή παραμόρφωσης του εδάφους K, με τη μέθοδο του διατμητικού κιβωτίου και τις καμπύλες των διαγραμμάτων που προέκυψαν από τις δοκιμές του πειραματικού τροχοφόρου ελκυστήρα με τετμημένη τον λόγο της διατμητικής τάσης T/T_m και τεταγμένη τον λόγο της ανηγμένης μετατόπισης j.

- Από τον Πίνακα 3, διαπιστώνεται ότι: α) για γωνία διάτμησης $\Theta=5^0$ προκύπτει συντελεστής παραμόρφωσης του εδάφους K=0,134 , με αναπτυσσόμενη ροπή στρέψης M_D=13,096 Nm. β) για γωνία διάτμησης $\Theta=10^0$ προκύπτει συντελεστής παραμόρφωσης του εδάφους K=0,213, με αναπτυσσόμενη ροπή στρέψης M_D=35,501 Nm.
- Από τον Πίνακα 4, διαπιστώνεται ότι για γωνία διάτμησης $\Theta=15^0$ προκύπτει συντελεστής παραμόρφωσης του εδάφους K=0,251, με αναπτυσσόμενη ροπή στρέψης M_D=35,463 Nm.
- Υπάρχει δυνατότητα καθορισμού του συντελεστή παραμόρφωσης K του εδάφους, με τη μέθοδο του διατμητικού κιβωτίου, για πραγματικές συνθήκες σε αγρό.
- Από την εικόνα 6 διαπιστώνεται ότι υπάρχει στο πρόσθιο μέρος φορτίο W=8kg σε απόσταση Z= 0 και παρατηρείται μία γραμμική μεταβολή της ολίσθησης μέχρι 8% περίπου, με φορτίο στην έλξη από 150N, μέχρι 300N. Για φορτία > 300N, υπάρχει απότομη αύξηση της ολίσθησης, που φθάνει το 35%, γεγονός που ο ελκυστήρας παρασύρεται από το φορτίο.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Γιαλαμάς Α.Θ. 1990. Μηχανική Οχημάτων Ανωμάλων Εδαφών. Διδακτικές σημειώσεις. Τμήμα Γεωργικών Μηχανών & Αρδεύσεων. Τ.Ε.Ι. Λάρισας. Λάρισα.
2. Γιαλαμάς Α.Θ. κ.α. 2005. Προσδιορισμός του συντελεστή παραμόρφωσης του εδάφους με τη βοήθεια ομοιώματος πειραματικού ερπυστριοφόρου ελκυστήρα. Πρακτικά 4ου Πανελλήνιου Συνεδρίου Γεωργικής Μηχανικής.
3. Τσατσαρέλης. Α.. Κ.. 1997. Γεωργικοί Ελκυστήρες. Εκδόσεις Γιαχούδη-Γιαπούλη. Θεσσαλονίκη.
4. Smith. M.. J.. 1981. Soil Mechanics. George Godwin. England.
5. Barger. E.. L.. Liljedahl. J.B.. Carleton. W.. M.. McKibben. E.. G.. 1963. Tractors and their power units. John Wiley & Sons. Inc.. USA.
6. Shrinivasa. U.. K.. William. C.. J.. Perumpral. J.. V.. Schafer. R.. L.. Gill. W.. R.. VandenBerg. G.. E.. 1994. Advances in soil dynamics. Pamela DeVore-Hansen. USA.
7. Bekker. M.. G.. 1960. Off-the-Road Locomotion. University of Michigan Press. USA.
8. Wills. B.. D.. 1963. Measurement of soil shear strength and deformation moduli and a comparison of the actual and theoretical performance of a family of rigid tracks. J. Agric.Engng.. Res. 8 (2).
9. Reece. A. R.. 1965. Principles of Soil/Vehicle Mechanics. Auto Div. I.Mech.E..

(125)

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΥΔΡΑΥΛΙΚΟΥ ΑΝΕΛΚΥΣΤΗΡΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΑΓΡΟΤΙΚΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ

Θ. Α. Γιαλαμάς[1α], Ε. Παπαχρήστου[1], Ι. Γραβαλος[1], Δ. Κατέρης[1], Χ. Δημητριάδης[1], Κ.Α. Τσατσαρέλης[2]

[1]Εργαστήριο Μηχανικής Οχημάτων Ανωμάλων Εδαφών. Τομέας Γεωργικής Μηχανικής ΤΓΜ&Α. ΣΤΕΓ. ΑΤΕΙ. Λάρισας. Τ.Κ.41110 Λάρισα. [α] e-mail:gialamas@teilar.gr

[2]Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας. Σχολή Γεωπονίας. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης. 54124 Θεσσαλονίκη.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα εργασία αφορά ένα πρόγραμμα υπολογισμού και εκπόνησης της μηχανολογικής μελέτης, που απαιτείται για την εγκατάσταση υδραυλικών συστημάτων μεταφοράς ισχύος με υψηλή πίεση, κυρίως σε εφαρμογή υπολογισμού μελέτης και ελέγχου υδραυλικών ανελκυστήρων για τη μεταφορά καθ΄ ύψος συσκευασιών με αγροτικά προϊόντα π.χ. σε ψυγεία αγροτικών προϊόντων. Η λειτουργία των υδραυλικών ανελκυστήρων αγροτικών προϊόντων βασίζεται στην ανύψωση ενός υδραυλικού εμβόλου, το οποίο φέρει στο επάνω μέρος του το θάλαμο τοποθέτησης των προϊόντων.

A COMPUTER PROGRAM OF HYDRAULIC LIFTING SYSTEMS FOR AGRICULTURAL PRODUCTS PACKAGES

Th.A. Gialamas[1], El. Ch. Papachristou, I. Gravalos, D. Kateris, X. Dimitriadis, K.A. Tsatsarelis[2]

[1]Laboratory for Off-Road Equipment, Section of Agricultural Mechanics, Department of Agricultural Engineering and Irrigation, School of Agriculture, Technological Educational Institute of Larissa, 41110, Larissa, Greece. [α] e-mail:gialamas@teilar.gr

[2]Laboratory for Agricultural Engineering, Aristotle University of Thessaloniki, 54124 Thessaloniki.

ABSTRACT

The study concerns a program for the computation and elaboration of the mechanical study, necessary for the installation of high pressure hydraulic power lifting systems, especially in applications of calculation of the study and control of hydraulic elevators used for lifting agricultural products packages (i.e. in agricultural products refrigerators).The function of hydraulic lifting systems for agricultural products depends on the elevation of a hydraulic piston, on which is fastened the products' basket.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.

Η παρούσα εργασία έχει σκοπό να βοηθήσει τις αγροτικές επιχειρήσεις στον προγραμματισμό και την εκπόνηση της μηχανολογικής μελέτης, που απαιτείται για την εγκατάσταση υδραυλικών συστημάτων μεταφοράς αγροτικών προϊόντων.

Γνωρίζοντας ότι υπάρχει έλλειμμα στα προγράμματα υπολογισμού τέτοιων υδραυλικών συστημάτων μεταφοράς (αγροτικών προϊόντων), αποφασίσθηκε από το εργαστήριο Υδραυλικών Μηχανισμών του Τ.Ε.Ι /Λάρισας να δημιουργήσει ένα απλό πρόγραμμα, υπολογισμού με τη χρήση της γνωστής εφαρμογής (Microsoft Excel), που να δίνει άμεσα αποτελέσματα.

Για τη δημιουργία του προγράμματος υπολογισμού ενός υδραυλικού συστήματος μεταφοράς, είναι απαραίτητη η πλήρης κατανόηση των στοιχείων εκείνων, τα οποία συγκροτούν ένα τέτοιο σύστημα καθώς και των τεχνικών στοιχείων, τα οποία υπόκεινται σε υπολογισμούς.

Για το λόγο αυτό η παρούσα εργασία, διαχωρίζεται σε δύο τμήματα. Στο πρώτο αναλύεται ο τρόπος λειτουργίας ενός υδραυλικού συστήματος μεταφοράς, αγροτικών προϊόντων όπως επίσης και τα στοιχεία από τα οποία αυτό συγκροτείται. Στο δεύτερο παρουσιάζεται το πρόγραμμα που δημιουργήθηκε, καθώς και ορισμένα παραδείγματα, για την κατανόηση της λειτουργίας του σύμφωνα με τον τρόπο με τον οποίο πρέπει να παραδίδεται μία μελέτη υπολογισμού υδραυλικών συστημάτων μεταφοράς προϊόντων.

Για την κατασκευή του προγράμματος, χρησιμοποιήθηκε το Microsoft Excel. Το πρόγραμμα είναι έτσι κατασκευασμένο, ώστε να επιτυγχάνεται ο αυτόματος υπολογισμός, όλων των στοιχείων, που συγκροτούν ένα υδραυλικό σύστημα μεταφοράς, εφόσον εισαχθούν από το χρήστη του προγράμματος τα επιθυμητά στοιχεία για το κατά περίπτωση εξεταζόμενο σύστημα.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ.

2.1. Περιγραφή κατασκευής προγράμματος.

Το πρόγραμμα υπολογισμού υδραυλικών συστημάτων μεταφοράς αγροτικών προϊόντων, κατασκευάστηκε σε φύλλο εργασίας του Microsoft Excel, με την παράλληλη χρήση κάποιων λειτουργιών της γλώσσας προγραμματισμού Visual Basic. Για την επίτευξη των απαιτουμένων υπολογισμών, χρησιμοποιήθηκαν συναρτήσεις του Excel σε συνδυασμό μεταξύ των (π.χ. IF, VLOOKUP, SUM, CONCATENATE, FIXED, POWER, PI κ.τ.λ.). Οι πράξεις πραγματοποιούνται αυτομάτως από το πρόγραμμα, βάσει των σχέσεων, οι οποίες χρησιμοποιούνται στην διεκπεραίωση μελετών υδραυλικών ανελκυστήρων και καθορίζονται από ειδικό κεφάλαιο του Ευρωπαϊκού κανονισμού, περί εγκαταστάσεως και λειτουργίας υδραυλικών ανελκυστήρων (EN. 81.2.).

Οι τιμές, οι οποίες λαμβάνονται από πίνακες στη διαδικασία υπολογισμών, είναι τυποποιημένες. Πρόκειται για πίνακες είτε του Ελληνικού Οργανισμού Τυποποιήσεως (ΕΛΟΤ), είτε του Ευρωπαϊκού κανονισμού, περί εγκαταστάσεως και λειτουργίας υδραυλικών ανελκυστήρων (EN. 81.2.), είτε των εταιρειών κατασκευής των διαφόρων υδραυλικών στοιχείων, τα οποία χρησιμοποιούνται στους υδραυλικούς ανελκυστήρες.

Για την εκπόνηση μιάς μελέτης εγκαταστάσεως υδραυλικού ανελκυστήρα, απαιτείται ο υπολογισμός των τεχνικών στοιχείων του, βάσει των επιθυμητών γενικών του χαρακτηριστικών. Ο σκοπός του προγράμματος είναι ο αυτοματοποιημένος υπολογισμός των στοιχείων αυτών, με τη χρήση των τυποποιημένων πινάκων διαφόρων στοιχείων και των σχέσεων, σύμφωνα με τις βασικές αρχές του EN. 81. Για τον υπολογισμό των τεχνικών στοιχείων από το πρόγραμμα χρησιμοποιήθηκε ένας συνδυασμός των συναρτήσεων του Excel.

Αναλυτικώτερα το πρόγραμμα διαχωρίζεται στα εξής τμήματα:

α. Γενικά Χαρακτηριστικά Ανελκυστήρα (όπου εισάγονται από το χρήστη τα επιθυμητά χαρακτηριστικά του υπό κατασκευή ανελκυστήρα),

β. Τεχνικά Χαρακτηριστικά Ανελκυστήρα (στο τμήμα αυτό αναγράφονται οι τελικές τιμές, οι οποίες έχουν υπολογιστεί από το πρόγραμμα, βάσει των χαρακτηριστικών που εισήχθησαν στο προηγούμενο τμήμα. Οι τιμές αυτές, σε συνδυασμό με τα γενικά χαρακτηριστικά, αποτελούν και τα τελικά αποτελέσματα, που απαιτούνται για την εκπόνηση της μηχανολογικής μελέτης εγκατάστασης ανελκυστήρα).

γ. Υπολογισμοί (στο τμήμα αυτό πραγματοποιούνται αυτόματα όλες οι πράξεις, βάσει των ισχυουσών σχέσεων και τα γενικά χαρακτηριστικά που εισήχθησαν από το χρήστη). Αναλυτικώτερα πραγματοποιούνται:

i) Υπολογισμός εμβόλου σε λυγισμό,

ii) Υπολογισμός αντοχής εμβόλου και κυλίνδρου σε στατική πίεση,

iii) Επιλογή αντλίας – έλεγχος ταχύτητας,

iv) Επιλογή κινητήρα – έλεγχος ισχύος,

v) Επιλογή – υπολογισμός οδηγών,

vi) Επιλογή – έλεγχος αντοχής συρματοσχοίνων,

vii) Υπολογισμός άξονα τροχαλίας,

viii) Επιλογή διαμέτρου τροχαλίας,

ix) Έλεγχος καταλληλότητας προσκρουστήρων – επικαθήσεων, και

x) Επιλογή μπλοκ βαλβίδων – διακοπτών – αγωγού τροφοδοσίας – βαλβίδας ασφαλείας.

Συγχρόνως, εκπονείται σε Microsoft Word η μελέτη εγκατάστασης υδραυλικού ανελκυστήρα, (υπολογισμός στοιχείων σε πίεση και τεχνική περιγραφή), σύμφωνα με τις προδιαγραφές έκδοσης οικοδομικών αδειών. Τα απαιτούμενα δεδομένα για την εκπόνηση της μελέτης, λαμβάνονται απευθείας από το πρόγραμμα υπολογισμού, μέσω ηλεκτρονικών συνδέσεων, ώστε να επιτυγχάνεται η άμεση απόδοση των αποτελεσμάτων και να μη απαιτείται οποιαδήποτε περαιτέρω διαδικασία.

Ακολούθως, γίνεται περιγραφή των κυριότερων βημάτων, που ακολουθήθηκαν για την υλοποίηση του προγράμματος, καθώς και ανάλυση των συναρτήσεων που χρησιμοποιήθηκαν κατά την κατασκευή του. Ακόμη, αναφέρεται ο τρόπος λειτουργίας των πτυσσόμενων μενού επιλογής.

	A	B	C	D
1	Α. ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΑΝΕΛΚΥΣΤΗΡΑ			
2				
3	ΕΙΔΟΣ ΑΝΕΛΚΥΣΤΗΡΑ :	ΦΟΡΤΙΩΝ, ΥΔΡΑΥΛΙΚΟΣ		
4	ΩΦΕΛΙΜΟ ΦΟΡΤΙΟ :	2000	kp	
5	ΑΡΙΘΜΟΣ ΣΤΑΣΕΩΝ :	3		
6	ΔΙΑΔΡΟΜΗ ΘΑΛΑΜΟΥ :	6000	mm	
7	ΕΙΔΟΣ ΑΝΑΡΤΗΣΗΣ :	ΕΜΜΕΣΗ (2 : 1)		HADI
8	ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΘΑΛΑΜΟΥ :	0,41	m/sec	
9	ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΜΒΟΛΩΝ :	2		
10	ΘΥΡΕΣ ΦΡΕΑΤΟΣ :	ΑΥΤΟΜΑΤΕΣ	1000	
11	ΘΥΡΑ 1η ΘΑΛΑΜΟΥ :	ΑΥΤΟΜΑΤΗ	1000	mm
12	ΘΥΡΑ 2η ΘΑΛΑΜΟΥ :	-	-	mm

HA
HAS
HAD
HADI
HAI

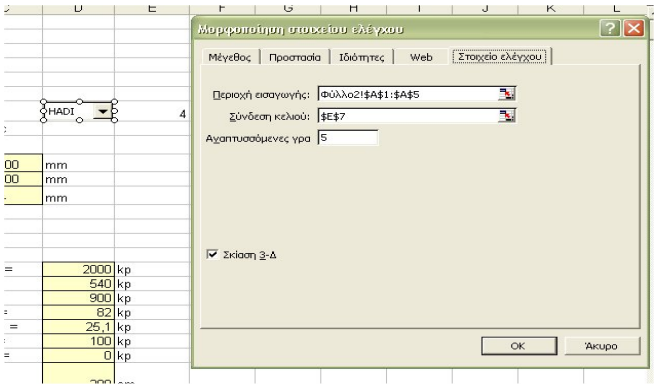
Σχήμα 1. Γενικά χαρακτηριστικά ανελκυστήρα.

Αρχικά, ζητούνται τα γενικά χαρακτηριστικά του υπό μελέτη ανελκυστήρα, τα οποία είτε επιλέγονται από πτυσσόμενο μενού, είτε απαιτείται η πληκτρολόγησή τους.

Από πτυσσόμενο μενού επιλέγεται το είδος αναρτήσεως και θυρών, ενώ απαιτείται αριθμητική τιμή για το επιθυμητό ωφέλιμο φορτίο, τον αριθμό στάσεων, τη διαδρομή του θαλάμου και την επιθυμητή ταχύτητα κινήσεως του θαλάμου, τα οποία συνιστούν και τα μόνα ζητούμενα, και χρησιμοποιούνται από το πρόγραμμα για την εκτέλεση των απαιτουμένων υπολογισμών.

Για την εισαγωγή ενός πτυσσόμενου μενού σε ένα φύλλο εργασίας του Excel πρέπει να έχει ενεργοποιηθεί η γραμμή εργαλείων «φόρμες», από την οποία επιλέγεται η εντολή «σύνθετο πλαίσιο». Εν συνεχεία, σχεδιάζεται το σύνθετο αυτό πλαίσιο, στις επιθυμητές διαστάσεις. Εφόσον το σύνθετο πλαίσιο σχεδιαστεί, με δεξί κλικ του ποντικιού πάνω σε αυτό, επιλέγεται το μενού «μορφοποίηση στοιχείου ελέγχου», το οποίο φαίνεται στην Σχήμα 2. Στην καρτέλα «στοιχείο ελέγχου», δίνονται τα απαραίτητα για την λειτουργία αυτού στοιχεία, τα οποία είναι :

1. Η περιοχή εισαγωγής, δηλαδή η περιοχή κελιών του Excel, από τα οποία λαμβάνονται τα στοιχεία που θα εμφανίζονται στο μενού και μπορεί να βρίσκονται στο ίδιο ή σε διαφορετικό φύλλο εργασίας ή ακόμη και σε διαφορετικό βιβλίο εργασίας.
2. Η σύνδεση κελιού, δηλαδή το κελί, με το οποίο είναι συνδεδεμένο το στοιχείο ελέγχου ώστε να είναι δυνατή η λειτουργία του.



Σχήμα 2. Μορφοποίηση στοιχείου ελέγχου

Στο κελί αυτό εμφανίζεται ένας αριθμός, ο οποίος αντιστοιχεί σε κάθε επιλεγμένη τιμή ή δεδομένο του πτυσσομένου μενού και αποτελεί ουσιαστικά την «πραγματική τιμή ή δείκτη» κάθε στοιχείου του μενού.

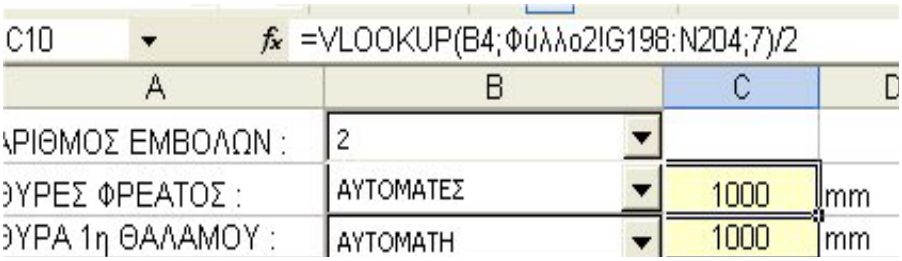
Οι τιμές αυτές λαμβάνονται υπόψη σε υπολογισμούς και συναρτήσεις και όχι οι «φαινομενικές», δηλαδή αυτές οι οποίες είναι ορατές στο χρήστη και οι οποίες επιλέγονται από το μενού. Επομένως, εάν έχει επιλεγεί η τιμή «HADI» από το πτυσσόμενο μενού, στο συνδεδεμένο κελί θα εμφανίζεται η τιμή «4», η οποία αντιστοιχεί στην επιλογή και αυτή χρησιμοποιείται σε οποιαδήποτε σχέση απαιτεί τον τύπο αναρτήσεως. Η τιμή «1» αντιστοιχεί στο πρώτο κελί, το οποίο επιλέχθηκε στην «περιοχή εισαγωγής» και όλες οι υπόλοιπες τιμές αντιστοιχούν σειριακά στα υπόλοιπα κελιά δεδομένων.

3. Οι αναπτυσσόμενες γραμμές, οι οποίες εξαρτώνται από τις τιμές τις οποίες περιέχει το πτυσσόμενο μενού.

Για τον υπολογισμό των τεχνικών στοιχείων, που απαιτούνται για την εκπόνηση της μηχανολογικής μελέτης εγκαταστάσεως υδραυλικού ανελκυστήρα, από το πρόγραμμα, χρησιμοποιούνται συναρτήσεις του Excel.

Πιο κάτω παρατίθενται μερικά αντιπροσωπευτικά παραδείγματα, ώστε να επιτευχθεί η κατανόηση του τρόπου λειτουργίας του προγράμματος.

Όπως είναι κατασκευασμένο το πρόγραμμα, η πρώτη τιμή, η οποία υπολογίζεται είναι αυτή των διαστάσεων των θυρών του φρέατος. Η συνάρτηση, η οποία χρησιμοποιείται, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.

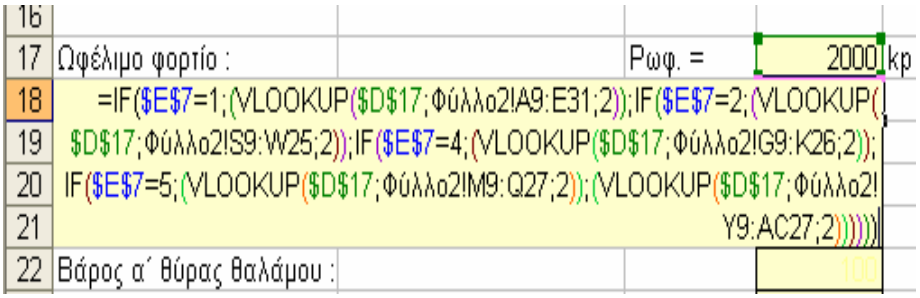


Σχήμα 3. Υπολογισμός διαστάσεων θυρών φρέατος

Η συνάρτηση VLOOKUP, είναι η συνάρτηση, η οποία επιτρέπει την αναφορά σε πληροφορίες, οι οποίες βρίσκονται αποθηκευμένες σε πίνακες.

Με τη συνάρτηση αυτή, μπορεί να βρεθεί η πρώτη ένδειξη με τον εντοπισμό της μεγαλύτερης τιμής της πρώτης στήλης, η οποία είναι μικρότερη ή ίση με το όρισμα «τιμή αναζήτησης», το οποίο έχει δοθεί και εν συνεχεία χρησιμοποιεί το όρισμα «αριθμός δείκτη στήλης» για τη δεύτερη ένδειξη, η οποία είναι και η ζητούμενη τιμή. Η «τιμή αναζήτησης», μπορεί να είναι καθαρός αριθμός ή κελί, όπως χρησιμοποιείται εν προκειμένω. Οι πίνακες οι οποίοι χρησιμοποιούνται για τον ορισμό των τιμών στο πρόγραμμα βρίσκονται στο «Φύλλο 2» του βιβλίου εργασίας.

Η επόμενη τιμή η οποία υπολογίζεται, είναι το βάρος του σασί, όπως φαίνεται στην Σχήμα 4.

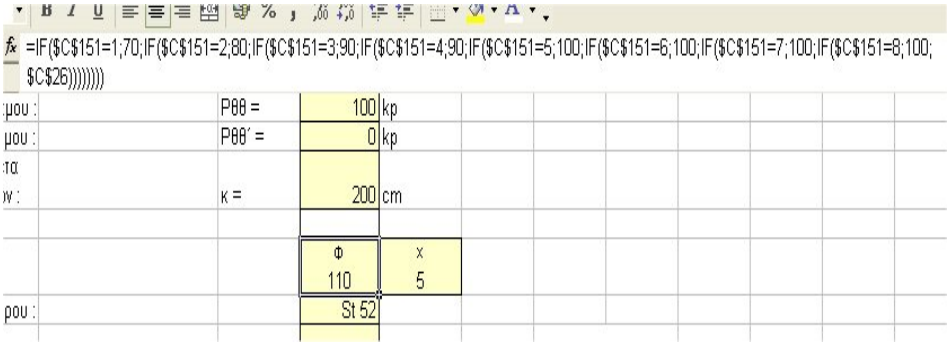


Σχήμα 4. Υπολογισμός βάρους σασί

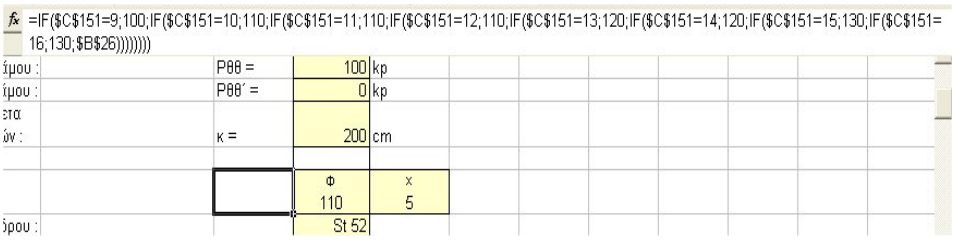
Για τον υπολογισμό λοιπόν του βάρους σασί χρησιμοποιήθηκε ένας συνδυασμός των συναρτήσεως IF και VLOOKUP. Η συνάρτηση IF ελέγχει την «λογική συνθήκη» και επιστρέφει το πρώτο όρισμα αν είναι αληθής (TRUE) ή το δεύτερο εάν είναι ψευδής (FALSE) και μπορούν να ενσωματωθούν έως οκτώ συναρτήσεις IF. Εν προκειμένω έχουν ενσωματωθεί πέντε. Ο περιορισμός αυτός της συνάρτησης IF δημιούργησε την ανάγκη, σε ορισμένες περιπτώσεις της διαδοχικής χρήσης της σε διαφορετικά κελιά, για τον υπολογισμό κάποιου στοιχείου. Ως παράδειγμα αναφέρεται η επιλογή τύπου εμβόλου. Στο πρόγραμμα υπάρχει πτυσσόμενο μενού επιλογής τύπου εμβόλου, στο οποίο πρέπει να γίνει επιλογή ανάλογα με τα αποτελέσματα Ρολ και Lκ, εφόσον ο χρήστης ανατρέξει στα διαγράμματα επιλογής εμβόλου. Η λειτουργία του πτυσσομένου μενού είναι η ίδια με αυτήν του μενού επιλογής τύπου αναρτήσεως, η οποία έχει περιγραφεί ανωτέρω.

Στο τμήμα των υπολογισμών υπάρχει πτυσσόμενο πλαίσιο επιλογής του τύπου του εμβόλου. Ανάλογα με την επιλογή, η οποία θα γίνει στο πτυσσόμενο μενού, εισάγεται ο τύπος του εμβόλου στο φύλλο των τεχνικών χαρακτηριστικών, όπου αναγράφονται όλα τα αποτελέσματα. Στα Σχήματα 5 – 7 φαίνονται οι συναρτήσεις οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν. Καθώς σε μία συνάρτηση IF μπορούν να ενσωματωθούν έως 8

συναρτήσεις, ενώ οι επιλογές του πτυσσομένου μενού επιλογής τύπου εμβόλου είναι 19, έπρεπε να διαχωριστούν οι συναρτήσεις αυτές ανά 8 ενσωματωμένες. Έτσι χρησιμοποιήθηκαν τρεις εξαρτώμενες μεταξύ τους συναρτήσεις σε τρία κελιά για την καταχώριση της διαμέτρου του εμβόλου και τρεις για την καταχώριση της διαφοράς εσωτερικής και εξωτερικής ακτίνας.

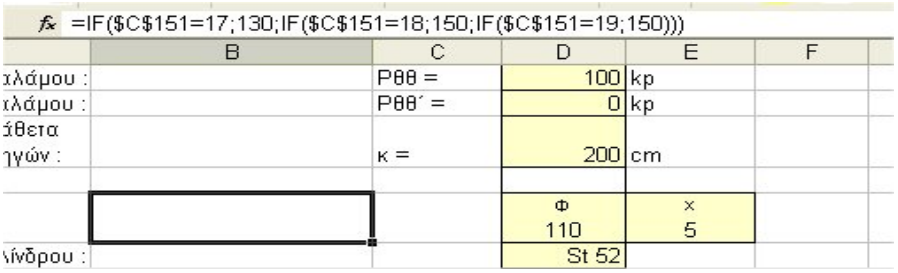


Σχήμα 5. Πρώτη συνάρτηση καταχωρίσεως διαμέτρου επιλεγμένου εμβόλου.



Σχήμα 6. Δεύτερη συνάρτηση καταχωρίσεως διαμέτρου επιλεγμένου εμβόλου.

Αρχικά, (Σχήμα 6), δόθηκε η συνάρτηση, η οποία αντιστοιχεί στις οκτώ πρώτες τιμές του πτυσσομένου μενού επιλογής τύπου εμβόλου,



Σχήμα 7. Τρίτη συνάρτηση καταχωρίσεως διαμέτρου επιλεγμένου εμβόλου.

Ως πρώτη «λογική συνθήκη» δίδεται η τιμή 1 του συνδεδεμένου με το πτυσσόμενο μενού κελιού (C151), η οποία όταν είναι αληθής αποδίδει την τιμή 70, ενώ εάν είναι ψευδής ελέγχεται η δεύτερη «λογική συνθήκη» (C151 = 2) και εάν είναι αληθής αποδίδεται η τιμή 80. Μετά την όγδοη ενσωματωμένη IF, σε περίπτωση κατά την οποία η «λογική συνθήκη» είναι ψευδής, το πρόγραμμα ανατρέχει στο κελί C26. Στο κελί αυτό χρησιμοποιείται παρόμοια συνάρτηση.

Η συνάρτηση του κελιού C26 ελέγχει ως πρώτη «λογική συνθήκη» την ισότητα του κελιού C151 με την τιμή 9 και συνεχίζεται για οκτώ ενσωματωμένες συναρτήσεις IF.

Στην περίπτωση κατά την οποία η όγδοη «λογική συνθήκη» είναι ψευδής, το πρόγραμμα ανατρέχει στο κελί C26. Στο κελί αυτό χρησιμοποιείται παρόμοια συνάρτηση.

Η συνάρτηση του κελιού C26 ελέγχει ως πρώτη «λογική συνθήκη» την ισότητα του κελιού C151 με την τιμή 17 και συνεχίζεται για τρεις ενσωματωμένες συναρτήσεις IF. Με παρόμοιες συναρτήσεις γίνεται και η καταχώριση της διαφοράς εσωτερικής και εξωτερικής ακτίνας. Οι συναρτήσεις αυτές παρατίθενται στη συνέχεια, χωρίς περαιτέρω ανάλυση, καθώς λειτουργούν με τον ίδιο τρόπο.

Κατά την υλοποίηση του προγράμματος έπρεπε να μετατραπούν κάποιες σχέσεις υπολογισμού σε συναρτήσεις, ώστε να επιτευχθεί ο στόχος της λήψης άμεσων αποτελεσμάτων. Ενδεικτικά αναφέρονται μερικές από αυτές:

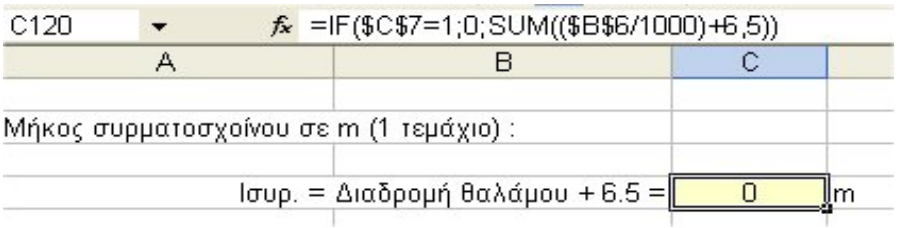
α) Το βάρος συρματοσχοίνου υπολογίζεται βάσει της σχέσεως :

$$Pσυρ. = n * lσυρ. * ρσυρ.$$

Το lσυρ είναι το μήκος του συρματοσχοίνου και υπολογίζεται γενικά από την σχέση:

$$lσυρ. = Διαδρομή θαλάμου + 6.5$$

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 8, τα συρματόσχοινα χρησιμοποιούνται μόνο σε έμμεση ανάρτηση. Έτσι χρησιμο-ποιείται η συνάρτηση IF με «λογική συνθήκη» την τιμή 1 ως τιμή του κελιού C7. Επομένως εάν η ανάρτηση είναι άμεση η τιμή του lσυρ. είναι 0, ενώ εάν είναι έμμεση υπολογίζεται ως το άθροισμα του ενός χιλιοστού του κελιού B6 (η διαδρομή θαλάμου σε μέτρα) συν την σταθερά 6,5.



Σχήμα 8. Υπολογισμός μήκους συρματοσχοίνου.

3. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Το πρόγραμμα υπολογισμού υδραυλικών συστημάτων ανύψωσης αγροτικών προϊόντων είναι απολύτως αυτοματοποιημένο και εύχρηστο, γιατί έχει κατασκευαστεί σε φύλλο εργασίας της Microsoft Excel και είναι προσιτό σε οποιοδήποτε χρήστη. Το πρόγραμμα έχει σχεδιαστεί να χρησιμοποιείται από χρήστες με ελάχιστες γνώσεις Η/Υ.

Τα απαιτούμενα στοιχεία εισαγωγής του προγράμματος είναι ελάχιστα, έχει επίσης τη δυνατότητα των αυτοματοποιημένων ελέγχων για τον καθορισμό της αντοχής των υλικών καθώς και την εκλογή των απαιτούμενων υδραυλικών στοιχείων όπως είναι η υδραυλική αντλία, ο ηλεκτροκινητήρας, οι οδηγοί και άλλα εξαρτήματα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Γιαλαμάς, Α.Θ. 1995. Υδραυλικοί Μηχανισμοί. Διδακτικές σημειώσεις. Τμήμα Γεωργικών Μηχανών & Αρδεύσεων. Τ.Ε.Ι. Λάρισας. Λάρισα.
2. Γιαννακόπουλος Κ. 1999. Υδραυλική Ισχύς. Τόμος Β, σελ.221-261.
3. Κωστόπουλος Ν.Θ., 1997. Υδραυλικά και Πνευματικά Συστήματα, Εκδόσεις Συμεών Ο.Ε. ΙΣΒΝ 960-7346-28-9, σελ.130- 137.
4. Παναγιωτόπουλος Β. Ν., 1985. Υδροστατικές Μεταδόσεις Κίνησης. Εκδόσεις Ζήτη.

(126)

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΔΟΝΗΣΕΩΝ ΣΤΟ ΘΑΛΑΜΟ ΧΕΙΡΙΣΜΟΥ ΤΩΝ ΓΕΩΡΓΙΚΩΝ ΕΛΚΥΣΤΗΡΩΝ

Θ.Α. Γιαλαμάς[1α], Ι. Γράβαλος[1], Δ. Κατέρης[1], Π. Ξυραδάκης[1], Κ.Α.Τσατσαρέλης[2], Θ.Α. Γέμτος[3]

[1]Εργ. Μηχανικής Οχημάτων Ανωμάλων Εδαφών. Τομέας Γεωργικής Μηχανικής Τμήμα Γεωργικών Μηχανών και Αρδεύσεων. Σ.ΤΕ.Γ Α.Τ.Ε.Ι. Λάρισας. Τ.Κ.41110 Λάρισα.
[α]e-mail: gialamas@teilar.gr
[2]Εργαστήριο Γ. Μηχανολογίας. Σχολή Γεωπονίας. Α.Π.Θ. 54124 Θεσσαλονίκη.
[3]Εργαστήριο Γ. Μηχανολογίας Π.Θ. Τ.Γ.Φυτ. Παρ/γης και Αγρ. Περιβάλλοντος, Οδός Φυτόκου, Ν. Ιωνία Μαγνησίας, Τ.Κ.38446.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η εργασία αυτή είναι μια ερευνητική μελέτη προσδιορισμού και καταγραφής των μηχανικών δονήσεων στο χειρομοχλό διεύθυνσης και στο κάθισμα του χειριστή που προέρχονται: α) από την πηγής ισχύος, β) από τα ελαστικά επίσωτρα, γ)τις ανωμαλίες και την τραχύτητα των εδαφών και δ) από τις ταλαντώσεις των παρελκομένων μηχανημάτων. Οι δοκιμές πραγματοποιήθηκαν με διαφορετικές πιέσεις στα ελαστικά επίσωτρα, εμπρόσθια και οπίσθια, με διαφορετικό αριθμό στροφών της πηγής ισχύος και με διαφορετικές σχέσεις μετάδοσης .

EXPERIMENTAL DETERMINATION OF MECHANICAL VIBRATIONS ON SAFETY CAB OF AGRICULTURAL TRACTORS

Th.A. Gialamas[1a], I. Gravalos, D. Kateris, P. Xyradakis [1],K.A. Tsatsarelis[2], Th. A. Gemtos[3]

[1]Laboratory for Off-Road Equipment, Section of Agricultural Mechanics, Department of Agricultural Engineering and Irrigation, School of Agriculture, Technological Educational Institute of Larissa, 41110, Larissa, Greece. [a]e-mail: gialamas@teilar.gr
[2]Lab. of Agr. Engineering, Aristotle University of Thessaloniki, 54124 Thessaloniki.
[3]Lab. of Farm Mechanization, Dept. of Agr., Crop Pr. & Rural Env., Univ.of Thessaly.

ABSTRACT

This paper presents an experimental study of mechanical vibrations on steering wheel and driving seat of agricultural tractors resulting from: a) engine, b) tyres, c) surface irregularity and d) implement oscillation. Tests were performed with different pressure rates to the front and rear tyres, different engine rpm and different gear changes.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σκοπός αυτής της εργασίας είναι να προσδιοριστούν και να καταγραφούν οι πάσης φύσεως δημιουργούμενες δονήσεις και θόρυβοι κατά τη διάρκεια της εργασίας των αγροτών και κυρίως των χειριστών των γεωργικών ελκυστήρων, οι οποίοι είναι από τις πλέον επικίνδυνες ομάδες εργαζομένων, από την ένταση του θορύβου στη δημιουργούμενη πηγή [1,3,8]. Οι χειριστές πρέπει να λαμβάνουν ατομικά μέσα ακουοπροστασίας για να προστατεύσουν την υγεία τους η οποία απειλείται σοβαρά τόσο από τις δονήσεις, όσο και από το δημιουργούμενο θόρυβο.

Οι περισσότερες γεωργικές εργασίες εκτελούνται με τη βοήθεια των γεωργικών ελκυστήρων, όπως είναι η άροση, οι εργασίες περιποίησης των φυτών, οι μεταφορές, σε πολλές περιπτώσεις η μετάδοση της κίνησης από τον ελκυστήρα σε αρδευτικό συγκρότημα για την άρδευση των καλλιεργειών, οι ψεκασμοί, οι λιπάνσεις κ.λ.π.

Η διάρκεια σε όλες τις παραπάνω εργασίες κυμαίνεται από 12 μέχρι και 18 ώρες ημερησίως [2,4,9]. Η χρονική διάρκεια αυτή είναι πάρα πολύ μεγάλη αν θεωρηθεί ότι και τα επίπεδα θορύβου στις περισσότερες περιπτώσεις είναι πάνω από τα επιτρεπτά όρια. Στις περιπτώσεις αυτές εάν τα όρια των δονήσεων και του θορύβου δεν κυμαίνονται στα επιτρεπτά επίπεδα που έχουν καθοριστεί από τη Ε.Ε. καθώς και από άλλους οργανισμούς και πρόσφατα έχουν εφαρμοστεί και στην Ελλάδα, οι επιπτώσεις στην υγεία των χειριστών θα είναι πολύ σοβαρές. Οι βλάβες και οι διαταραχές που προέρχονται από τις δονήσεις και εμφανίζονται στον ανθρώπινο οργανισμό είναι πάρα πολλές, όπως Αναπνευστικές, Καρδιοαγγειακές, Νευρολογικές κ.α.

Το ερέθισμα για την εργασία αυτή δόθηκε από συγκεκριμένους χειριστές γεωργικών ελκυστήρων, οι οποίοι μετά την εργασία των παραπονιόνταν ότι είχαν ημικρανίες, ένα συνεχή βουητό στα αυτιά τους καθώς και πόνους στη μέση και τη σπονδυλική στήλη και φυσικά μούδιασμα στα χέρια. Οι εργαζόμενοι στην αγροτική παραγωγή κυρίως στους θερινούς μήνες εργάζονται είτε με ελκυστήρες χωρίς θάλαμο ασφαλείας είτε με θάλαμο χωρίς ρύθμιση της θερμοκρασίας, έχοντας τα παράθυρα και τις πόρτες ανοιχτές, λόγω ζέστης, αλλά και για καλλίτερο έλεγχο της λειτουργίας των παρελκομένων γεωργικών μηχανημάτων [5,6,7]. Αυτές οι συνθήκες όμως προκαλούν μόνιμες βλάβες στο μηχανισμό της ακοής και κυρίως τη θορυβοεξαρτώμενη κώφωση. Στις περιπτώσεις αυτές θα πρέπει να ληφθούν ορισμένα μέτρα ασφαλείας για μείωση τόσο των δονήσεων όσο και του θορύβου.

Μερικά μέτρα που αναφέρονται στην προστασία των χειριστών είναι η τοποθέτηση στους σύγχρονους ελκυστήρες θαλάμων ασφαλείας οι οποίοι να εδράζονται σε αποσβεστήρες κραδασμών, τα καθίσματα των χειριστών να έχουν τη δυνατότητα ρύθμισης της ταλάντωσης που δέχονται από τις ανωμαλίες του εδάφους σε συνάρτηση με το βάρος του χειριστή. Η θέση του καθίσματος καθώς και στάση που κάθεται ο χειριστής θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη, ώστε να επιτυγχάνεται η ελάχιστη κόπωση. Επίσης οι κατασκευάστριες εταιρίες πρέπει να τοποθετούν στο εσωτερικό των θαλάμων ειδικά μονωτικά υλικά επένδυσης τα οποία να αποσβένουν τους θορύβους ώστε να μειώνεται η ημερήσια δόση δόνησης και θορύβου και τέλος οι χειριστές να χρησιμοποιούν όπως αναφέρθηκε τα ατομικά μέσα ακουοπροστασίας [10,11]. Υπάρχει επίσης δυνατότητα στους σύγχρονους θαλάμους να τοποθετηθούν συστήματα ρύθμισης της θερμοκρασίας, (κλιματισμός) ώστε οι χειριστές να εργάζονται με άνεση, σε όλες τις καιρικές συνθήκες και να μην κουράζονται από τις δυσμενείς συνθήκες του περιβάλλοντος.

Οι έρευνες αναδεικνύουν ότι οι αγρότες έχουν αυξημένο κίνδυνο για απώλεια ακοής σε ποσοστό 92% που συμμετείχαν στην έρευνα. Ο θόρυβος λοιπόν αποτελεί μέγιστη προτεραιότητα στην υγεία των αγροτών.

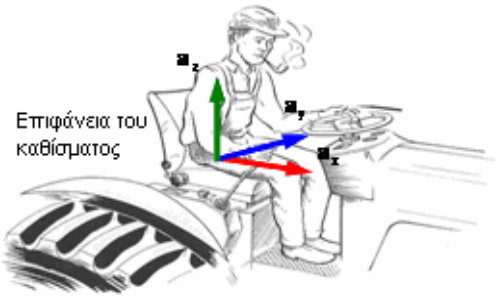
Ένας πολύ μεγάλος αριθμός αγροτών εκτίθενται στο θόρυβο. Μια έρευνα που πραγματοποιήθηκε από το National Institute for Occupational Safety and Health εκτιμά ότι το 84% των ατόμων που εργάζονται σε γεωργικές εργασίες εκτίθενται στο θόρυβο σε επίπεδο υψηλότερο από το όριο των 85 dB(A), ένα επίπεδο στο οποίο η παρατεταμένη έκθεση προκαλεί απώλεια ακοής και αλλά προβλήματα υγείας .

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Ο πειραματικός προσδιορισμός των δονήσεων στο θάλαμο χειρισμού των γεωργικών ελκυστήρων, πραγματοποιήθηκε στο Εργαστήριο Μηχανικής Οχημάτων Ανωμάλων Εδαφών, του Τ.Ε.Ι. / Λάρισας. Χρησιμοποιήθηκαν οι ελκυστήρες του εργαστηρίου, καθώς και μία ηλεκτρονική συσκευή μέτρησης και καταγραφής των δονήσεων του εργοστασίου BRUEL & KJAER, VIBROTEST 60, Γερμανικής κατασκευής.

Η συσκευή με τη βοήθεια αισθητήρων που διαθέτει, μας παρέχει τη δυνατότητα της λήψης και αποθήκευσης των επαναλαμβανόμενων δονήσεων σε συγκεκριμένες θέσεις που επιλέγονται κατά τη δοκιμή. Οι αισθητήρες έχουν τη δυνατότητα να τοποθετούνται σε επίπεδες μεταλλικές επιφάνειες και να σταθεροποιούνται στα επιλεγμένα σημεία με τη βοήθεια ισχυρών μαγνητών που διαθέτουν. Η καταγραφή των μετρήσεων πραγματοποιείται στο λογισμικό της συσκευής, είναι συνεχής με χρονικό διάστημα 1s. Η συσκευή μέσω των αισθητήρων έχει τη δυνατότητα λήψης των δονήσεων του συγκεκριμένου σημείου σε τρεις άξονες (X,Y,Z), έτσι ώστε να είναι εύκολη η ανάλυση και η αξιολόγησή τους και να λαμβάνονται μέτρα για τη μείωση του εύρους των δονήσεων και φυσικά τη μείωση της κόπωσης των χειριστών. Από διάφορες εργασίες που έχουν δημοσιευτεί σχετικά με το παραπάνω θέμα διαπιστώνεται ότι η δυσμενέστερη περίπτωση κόπωσης των χειριστών προέρχεται από τις κατακόρυφες δονήσεις, όπως φαίνεται στην *Σχήμα 1*. και εφαρμόζονται στο κάθισμα του χειριστή ενός γεωργικού ελκυστήρα..

Οι δοκιμές πραγματοποιήθηκαν στον ελκυστήρα του εργαστηρίου όπου τα βασικά του χαρακτηριστικά φαίνονται στον *Πίνακα 1*.



Σχήμα 1. Καθορισμός των δονήσεων στο κάθισμα του χειριστή.

3. ΔΟΚΙΜΕΣ - ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

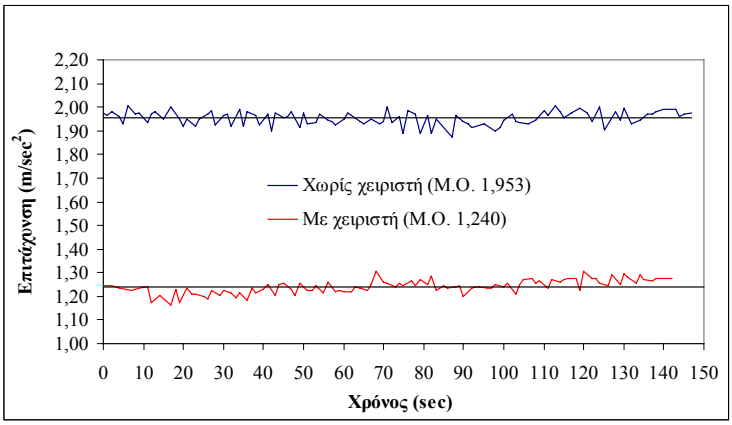
Οι δοκιμές πραγματοποιήθηκαν σε καθορισμένη διαδρομή με ασφαλτοτάπητα στο αγρόκτημα του Τ.Ε.Ι. Στο *Σχήμα 2,* εμφανίζεται ο μέσος όρος των κατακόρυφων επιταχύνσεων των δονήσεων στον κεντρικό άξονα του χειρομοχλού διεύθυνσης του ελκυστήρα σε στάση με 600 rpm, (ρελαντί) στην πηγή ισχύος, με χειριστή και χωρίς χειριστή, για την ίδια πίεση ελαστικών πίσω 0,90 bar και μπροστά 1,30 bar.

Στο *Σχήμα 3*, εμφανίζεται ο μέσος όρος των κατακόρυφων επιταχύνσεων των δονήσεων στο κάθισμα του ελκυστήρα σε στάση με 600 rpm στην πηγή ισχύος, με

χειριστή και χωρίς χειριστή, για την ίδια πίεση ελαστικών πίσω 0,90 bar και μπροστά 1,30 bar.

Πίνακας 1. Στοιχεία ελκυστήρα για δοκιμή σε δονήσεις.

Εργοστάσιο κατασκευής / Μοντέλο	RENAULT 461
Έτος κατασκευής	1973
Ώρες λειτουργίας μηχανής	1490
Ισχύς μηχανής [KW]	35 KW
Κινητήριοι άξονες	ΟΠΙΣΘΙΟΣ
Πίεση ελαστικών εμπρός [bar]	Α=1,0 , Β=1.30 , Γ= 2,0
Πίεση ελαστικών πίσω [bar]	Α= 0,50 , Β= 0,90 , Γ=1,0
Καμπίνα εργοστασίου	ΝΑΙ
Ανάρτηση Καμπίνας	ΟΧΙ
Μόνωση Καμπίνας	ΟΧΙ
Παράθυρα Καμπίνας Ανοιχτά /Κλειστά	ΚΛΕΙΣΤΑ
Πόρτες Καμπίνας Ανοιχτές /Κλειστές	ΑΝΟΙΧΤΕΣ
Κλιματισμός Καμπίνας	ΟΧΙ
Ρύθμιση Καθίσματος	ΟΧΙ
Αλλαγή Καθίσματος	ΟΧΙ
Ανάρτηση Καθίσματος	ΟΧΙ
Θερμοκρασία Περιβάλλοντος [0C]	32
Δοκιμή σε Ασφαλτοτάπητα	ΝΑΙ
Ανάρτηση πρόσθιου άξονα	ΟΧΙ
Ανάρτηση οπίσθιου άξονα.	ΟΧΙ
Διάρκεια δοκιμής [h]	3
Ζώνες ασφαλείας	ΟΧΙ
Είδος καυσίμου diesel/βιοκαύσιμο	diesel
Στροφές Μηχανής RPM	600, 1000, 1500, 2000, 2150
Επιλογή σχέσεων μετάδοσης	5η και 6η

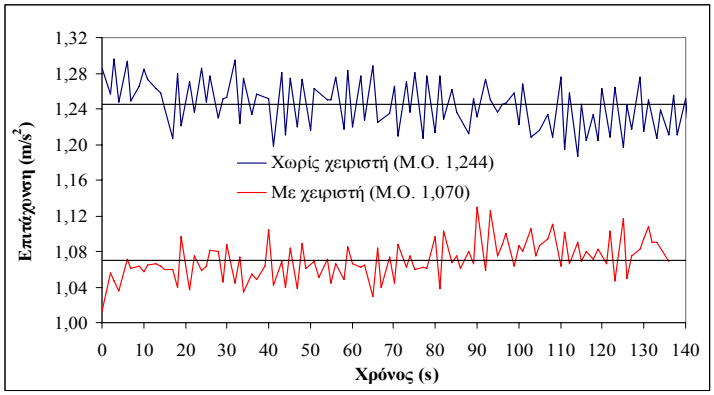


Σχήμα 2. Κατακόρυφες δονήσεις στο χειρομοχλό διεύθυνσης με χειριστή και χωρίς χειριστή.

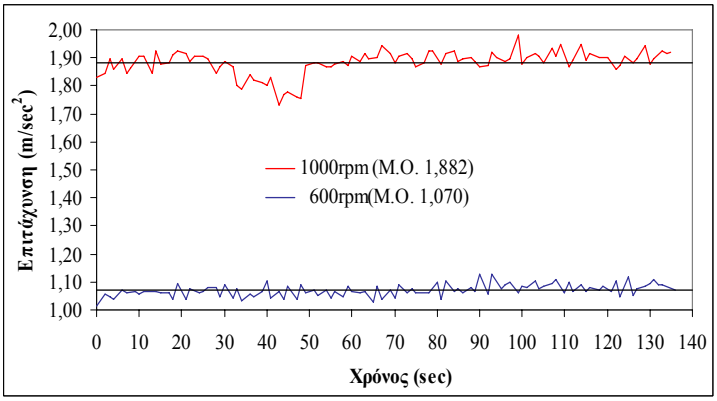
Στο *Σχήμα 4,* εμφανίζεται ο μέσος όρος των κατακόρυφων επιταχύνσεων των δονήσεων στο κάθισμα του ελκυστήρα σε στάση για 600 και 1000 rpm στην πηγή

ισχύος, με χειριστή και συνοδηγό, για την ίδια πίεση ελαστικών πίσω 0,90 bar και μπροστά 1,30 bar.

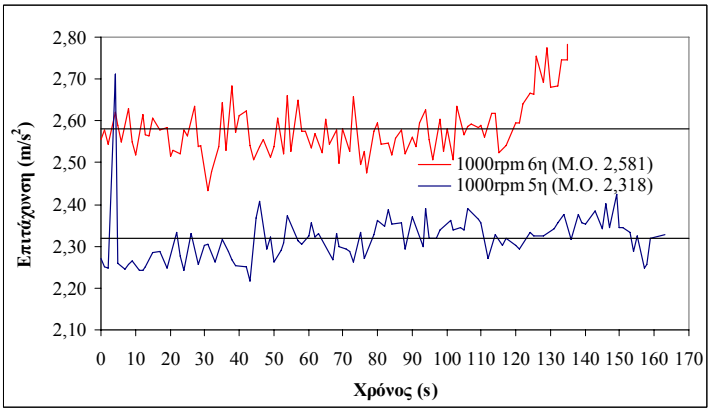
Στο *Σχήμα 5,* εμφανίζεται ο μέσος όρος των κατακόρυφων επιταχύνσεων των δονήσεων στο κάθισμα του ελκυστήρα σε κίνηση για τις ίδιες στροφές της πηγής ισχύος 1000 rpm αλλά με διαφορετικές σχέσεις μετάδοσης της κίνησης με την 5η και 6η, με χειριστή και συνοδηγό, για την ίδια πίεση ελαστικών πίσω 0,90 bar και μπροστά 1,30 bar.



Σχήμα 3 Κατακόρυφες δονήσεις στο κάθισμα του χειριστή με και χωρίς χειριστή.

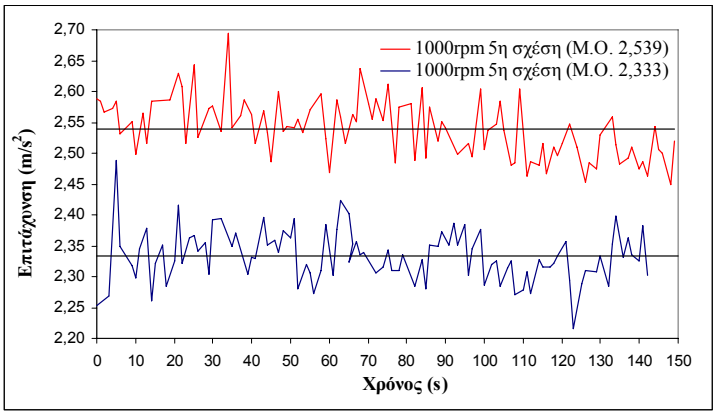


Σχήμα 4. Κατακόρυφες δονήσεις στο κάθισμα του χειριστή για διαφορετικές στροφές της μηχανής



Σχήμα 5. Κατακόρυφες δονήσεις στο κάθισμα του χειριστή για διαφορετικές ταχύτητες.

Στο *Σχήμα 6,* εμφανίζεται ο μέσος όρος των κατακόρυφων επιταχύνσεων των δονήσεων στο κάθισμα του ελκυστήρα σε κίνηση για τις ίδιες στροφές της πηγής ισχύος 1000 rpm με την 5η σχέση μετάδοσης της κίνησης με χειριστή και συνοδηγό, για διαφορετικές πιέσεις στα ελαστικά επίσωτρα α) πίσω 0,50 bar και μπροστά 1,0 bar και β) πίσω 1,0 bar και μπροστά 2,0 bar.



Σχήμα 6. Κατακόρυφες δονήσεις στο κάθισμα του χειριστή με τις ίδιες στροφές αλλά με διαφορετικές πιέσεις στα ελαστικά επίσωτρα.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

1. Διαπιστώνεται από το *Σχήμα 2*, ότι ο μέσος όρος των κατακόρυφων δονήσεων στο χειρομοχλό διεύθυνσης είναι μεγαλύτερος στην περίπτωση που δεν υπάρχει χειριστής με M.O. 1,953 m/s^2 , σε σχέση με το M.O. 1,240 m/s^2 όταν υπάρχει χειριστής σε στάση οδήγησης, η διαφορά οφείλεται στην απόσβεση των δονήσεων, μέσω των χεριών του χειριστή.

2. Διαπιστώνεται από το *Σχήμα 3,* το ίδιο φαινόμενο όπως και στο *Σχήμα 2,* με τη διαφορά των δονήσεων να οφείλεται στην απόσβεση των δονήσεων, μέσω του σώματος του χειριστή.

3. Διαπιστώνεται από το *Σχήμα 4,* ότι με την αύξηση των στροφών της πηγής ισχύος από 600 σε 1000 rpm,έχουμε και αύξηση των M.O. των δονήσεων από 1,070 σε 1,882 m/s^2

4. Διαπιστώνεται από το *Σχήμα 4,* ότι διατηρώντας τις ίδιες στροφές στην πηγή ισχύος,1000 rpm, αλλά με διαφορετικές σχέσεις μετάδοσης, εμφανίζεται αύξηση των δονήσεων στις μεγαλύτερες σχέσεις μετάδοσης, για την 5η σχέση M.O. 2,318 m/s^2, για την 6η σχέση M.O. 2,581 m/s^2

5. Διατηρώντας σταθερές τις στροφές της πηγής ισχύος 1000 rpm, και την ίδια σχέση μετάδοσης 5η , στο *Σχήμα 6,* διαπιστώνεται ότι εμφανίζεται αύξηση του μέσου όρου των κατακόρυφων δονήσεων σε σχέση με το διπλασιασμό της πίεσης στα ελαστικά επίσωτρα.

6. Έχει διαπιστωθεί ότι οι δονήσεις στον ανθρώπινο οργανισμό δημιουργούν: α) βλάβες όπως: ● Αναπνευστικές, ● Καρδιοαγγειακές, ● Νευρολογικές ● Πεπτικές και ● Αδενικές. β) Διαταραχές όπως είναι: ● Μείωση της ατομικής προσοχής και αντίληψης με κίνδυνο πρόκλησης τροχαίου ή εργατικού ατυχήματος, ● μείωση πνευματικών ικανοτήτων, ● μείωση ακουστικών ικανοτήτων, ● μείωση της διάρκειας του ύπνου (αϋπνίες), ● ψυχολογικές, γ) Το σύνδρομο των δονήσεων χεριού – βραχίονα, δημιουργεί την ασθένεια των ΄΄Λευκών Δακτύλων΄΄, η οποία προέρχεται από τη μη καλή κυκλοφορία του αίματος στα άκρα των δακτύλων, με αποτέλεσμα αισθητηριακές

διαταραχές, έλλειψη ανοχής στο ψύχος, μυϊκές κράμπες, μειωμένη επιδεξιότητα σύσφιξης των αντικειμένων.

Θα πρέπει να χρησιμοποιούνται ελκυστήρες με ανενεργά (αδρανή), ή ενεργά συστήματα ανάρτησης της θέσης του χειριστή τα οποία μειώνουν τους κραδασμούς. Στις περιπτώσεις αυτές η θέση του οδηγού στηρίζεται επάνω σε μία υδροπνευματική ανάρτηση, η οποία προσαρμόζεται αυτόματα ανάλογα με τη μάζα του οδηγού και η οποία είναι συνδεδεμένη με ένα υδραυλικό κινητό διάφραγμα ρύθμισης της έντασης της δόνησής της. Σκοπός αυτής της κατασκευής είναι να εξασφαλίζονται κατά τη διάρκεια της οδήγησης, οι δυναμικές δονήσεις, η μέγιστη ασφάλεια καθώς και η προσφερόμενη άνεση της θέσης του οδηγού, για μείωση της κόπωσής του.

Οι χειριστές θα πρέπει να χρησιμοποιούν αντι-κραδασμικά γάντια τα οποία να ανταποκρίνονται στα βιοδυναμικά χαρακτηριστικών του ανθρώπινου συστήματος χεριού – βραχίονα σε ένα ευρύ φάσμα συχνοτήτων (40-200 Hz).

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. 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. Biosystems Engineering Silsoe Research Institute 81 (1), 35-47
2. Lines, J. A., Stayner, R, M. 1989. Improved operator performance from reduced vibration. In: Proceedings of the Institute of Acoustic conference Oxford.
3. Potecchi, S. 1986. Determination of the characteristic of the tractor –seat-system by means of a relief track. Study of accidents and comfort of agricultural and forestry mechanization and building in service. Firenze, December 2-3, 239-244.
4. Rakheja, S., Sankar, S.1984a. Suspension design to improve tractor ride: I passive seat suspension. S.A.E. Transactions, 4, 1096- 1104.
5. Rakheja, S., Sankar, S.1984b. Suspension design to improve tractor ride: II passive cab suspension. S.A.E. Transactions, 4, 1005- 1112.
6. Sankar, S., Afonso, M. 1993. Design and testing of lateral seat suspension for all road vehicles. Journal of Terramechanics, 30(5), 371-393.
7. Pessina, D. 1986. Assessment of the vibration at the drive place of an agricultural tractor during transport. Rivista di Ingegneria Agraria 17(4) 227 – 241.
8. Lines, J., Stiles, M., Whyte, R. 1995. Whole body vibration during tractor driving. Journal of low Frequency Noise and Vibration, 14(2), 87- 104
9. Göhlich, H., Von Holst Chr. 1997. Fahrdynamik – Fahrsicher heit – Fahreplatz.[Ride dynamics – Ride safety – Drivers plate] In Yearbook Agricultural Engineering Matthies Munster, 78-84.
10. Neely, G., Burstrom, L. 2006. Gender differences in subjective responses to hand-arm vibration. International Journal of Industrial Ergonomics 36 (2006) 135-140.
11. Dong, R.G., McDowell, T.W., Welcome, D.E., Smutz, W.P. 2004. Correlations between biodynamic Characteristics of human hand – arm system and the isolation effectiveness of anti-vibration gloves. International Journal of Industrial Ergonomics 35 (2005)205 -216

(127)

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΓΩΝΙΩΝ ΕΥΣΤΑΘΙΑΣ ΓΙΑ ΕΓΚΑΡΣΙΑ ΚΙΝΗΣΗ ΣΕ ΚΕΚΛΙΜΕΝΟ ΕΠΙΠΕΔΟ

Θ.Α. Γιαλαμας[1α], Δ. Κατέρης[1], Ι. Γράβαλος[1], Π. Ξυραδάκης[1]
Κ.Α. Τσατσαρέλης[2]
[1]Εργαστήριο Μηχανικής Οχημάτων Ανωμάλων Εδαφών. Τομέας Γεωργικής Μηχανικής Τ.Γ.Μ.&Α. ΣΤΕ.Γ. Α.Τ.Ε.Ί. Λάρισας. Τ.Κ.41110 Λάρισα. [α]e-mail. gialamas@teilar.gr
[2]Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας. Σχολή Γεωπονίας. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης. 54124 Θεσσαλονίκη.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η γνώση των καταστάσεων ευσταθούς ισορροπίας επιτρέπει την ασφαλή κίνηση των ελκυστήρων σε επικλινή και ανώμαλα εδάφη και την αποφυγή ανατροπών ή πλάγιων πτώσεων. Το μεγαλύτερο ποσοστό των θανατηφόρων ατυχημάτων προέρχεται από ανατροπές και πλάγιες πτώσεις των γεωργικών ελκυστήρων κυρίως όταν κινούνται εγκάρσια σε εδάφη με κλίση. Ο προσδιορισμός των επιτρεπομένων γωνιών κλίσης πραγματοποιείται με διαδοχικές δοκιμές στην πειραματική τράπεζα δοκιμών η οποία κατασκευάστηκε στο εργαστήριο των Γ.Μ.& Α. του Τ.Ε.Ι./Λ.

EXPERIMENTAL ANALYSIS OF SLOPE ANGLES FOR CROSS MOVEMENT ON INCLINED PLANE

Th. A. Gialamas[1a], D. Kateris [1], I. Gravalos[1], P. Xyradakis [1], K. A. Tsatsarelis[2]
[1]Laboratory for Off-Road Equipment, Section of Agricultural Mechanics, Department of Agricultural Engineering and Irrigation, School of Agriculture, Technological Educational Institute of Larissa, 41110, Larissa, Greece [a] e-mail. gialamas@teilar.gr
[2]Laboratory for Agricultural Mechanics, Department of Agriculture, Aristotel University of Thessaloniki, 54124 Thessaloniki.

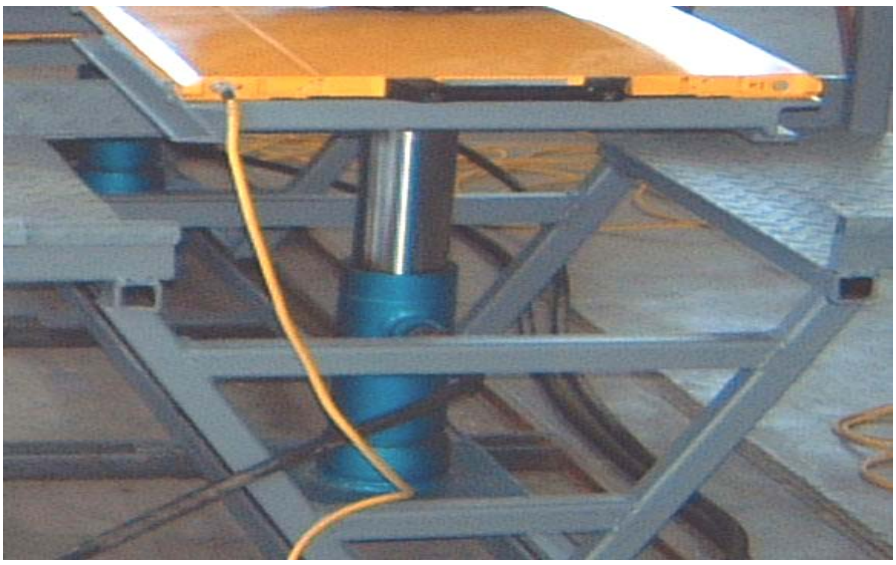
ABSTRACT

The knowledge of stability situations allows the safe movement of agricultural tractors on sloping and rough grounds and the avoidance of overturning or sloping downfalls. The greater percentage of fatal accidents are caused by the loss of stability of agricultural tractors while working on sloping ground. The determination of accepted grade angles is actualized with sequential tests on the adjustable testing - bench which is manufactured at the laboratory of Agricultural Engineering and Irrigation, School of Agriculture.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η απώλεια της σταθερότητας και του ελέγχου είναι οι δύο κύριοι παράγοντες οι οποίοι συντελούν στην ανατροπή των γεωργικών ελκυστήρων, όταν εργάζονται σε επικλινή εδάφη [1, 2, 4, 5, 7, 11]. Άλλοι παράγοντες, οι οποίοι οδηγούν σε ατυχήματα είναι το είδος του εδάφους στο οποίο εργάζεται ο ελκυστήρας, ο εξοπλισμός που χρησιμοποιείται και ο παράγοντας μεταφοράς βάρους [3]. Η απώλεια της σταθερότητας προκύπτει, όταν οι αντιδράσεις των τροχών μεταβάλλονται λόγω της κλίσης ή της αλλαγής πορείας και κυρίως όταν προκαλούν τον μηδενισμό των αντιδράσεών τους, στα ανάντη του εγκάρσιου επιπέδου [7, 8]. Οι απώλειες ελέγχου για πλάγιες πτώσεις, μπορεί να οφείλονται σε ανεπαρκή πρόσφυση, φθαρμένα ελαστικά, των τροχών και φυτικά υπολείμματα του εδάφους, αλλά και μειωμένη πίεση στα ελαστικά επίσωτρα [7, 9]. Οι Crolla και Spenser [1] εφήρμοσαν ένα μαθηματικό μοντέλο για πρόβλεψη της τροχιάς ανατροπής του ελκυστήρα και συνέκριναν τα αποτελέσματα του μοντέλου με τα αποτελέσματα πειραμάτων κατά την κίνηση ενός ελκυστήρα ελεγχόμενο από απόσταση. Οι Kim και άλλοι [6], μελέτησαν την πλευρική σταθερότητα του ελκυστήρα προσομοιώνοντας την κίνηση σε ηλεκτρονικό υπολογιστή και κατέληξαν σε ασφαλή συμπεράσματα για το χειρισμό του ελκυστήρα σε σχέση με το ανάγλυφο του εδάφους και των λειτουργικών συνθηκών. [6, 10].

Η μεταβολή της κλίσης της τράπεζας και του προς δοκιμή ελκυστήρα, τόσο κατά το διαμήκη όσο και τον εγκάρσιο άξονα, επιτυγχάνεται με την ανεξάρτητη μεταβολή του ύψους των υδραυλικών κυλίνδρων, σχήμα 1.



Σχήμα 1. Υδραυλικός κύλινδρος σε θέση ανύψωσης μαζί με το πλαίσιο τοποθέτησης των αισθητηρίων ηλεκτρονικών ζυγών.

Σε κάθε θέση γίνεται νέα καταγραφή του φορτίου του κάθε τροχού, αλλά και του κάθε άξονα και με ειδικό πρόγραμμα υπολογισμού καθορίζονται οι μέγιστες επιτρεπόμενες γωνίες κλίσης για στατική κατάσταση. Έτσι για κίνηση του ελκυστήρα σε έδαφος με ποικίλη κλίση προς όλες τις κατευθύνσεις είναι δυνατό να προβλέπεται η κατάσταση ευσταθούς ή ασταθούς ισορροπίας.

Η πειραματική ανάλυση για εγκάρσια ευστάθεια, πραγματοποιήθηκε με συνεχείς δοκιμές, λαμβάνοντας κάθε φορά υπόψη τον παράγοντα μεταφοράς βάρους από τη δεξιά προς την αριστερή πλευρά και αντίστροφα.

Από τις πειραματικές δοκιμές διαπιστώθηκε ότι ο παράγοντας μεταφοράς βάρους αρχικά παρουσιάζεται στον οπίσθιο άξονα, και μεταβιβάζεται π.χ. για δεξιά εγκάρσια κίνηση από το δεξιό τροχό προς τον αριστερό και αντίστροφα για αλλαγή πορείας, ανάλογα με την κλίση του εδάφους χωρίς να επηρεάζεται από τη μεταφορά αυτή ο εμπρόσθιος άξονας. Αυτό παρατηρήθηκε λόγω της μη μεταβολής του φορτίου του, γιατί ο εμπρόσθιος άξονας έχει τη δυνατότητα της κατακόρυφης κίνησής του γύρο από το σημείο της άρθρωσής του. Διαπιστώθηκε επίσης ότι ο παράγοντας μεταφοράς βάρους άρχισε να επηρεάζει τον εμπρόσθιο άξονα όταν η γωνία περιστροφής μηδενίστηκε και το πλαίσιο του ελκυστήρα άρχισε να εφάπτεται στον εμπρόσθιο άξονα.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Τα απαραίτητα στοιχεία για τον προσδιορισμό των γωνιών ευστάθειας για εγκάρσια κίνηση σε κεκλιμένο επίπεδο προέρχονται από μετρήσεις που πραγματοποιούνται στην τράπεζα δοκιμών που κατασκευάστηκε στα εργαστήρια του τμήματος Γεωργικών Μηχανών και Αρδεύσεων του Α.Τ.Ε.Ι. Λάρισας.

Η τράπεζα δοκιμών (Σχήμα 2), μας παρέχει αυτή τη δυνατότητα, να μεταβάλλει την κλίση της, προς όλες τις κατευθύνσεις, όπως για πορεία ανοδική, καθοδική, εγκάρσια δεξιά και αριστερά. Η τράπεζα αποτελείται από μία μεταλλική στιβαρή κατασκευή, επάνω στην οποία ανέρχεται ο προς δοκιμή ελκυστήρας. Η τράπεζα έχει τη δυνατότητα αυξομείωσης των διαστάσεων της, για δοκιμές γεωργικών ελκυστήρων με εύρος τροχών από 1,10 m μέχρι 1,90 m και απόσταση μεταξύ των αξόνων από 1,90 m μέχρι 2,90 m. Στα σημεία επαφής των τροχών με την τράπεζα τοποθετούνται ειδικές αυτόματες ηλεκτρονικές ζυγιστικές μονάδες οι οποίες συνδέονται με ειδικά καλώδια μεταφοράς δεδομένων στις θύρες εισόδου ειδικής καταγραφικής μονάδας ή σε Η/Υ. Οι ζυγιστικές μονάδες προσαρμόζονται κατάλληλα σε μεταλλικές βάσεις, στο κάτω μέρος των οποίων είναι τοποθετημένοι υδραυλικοί κύλινδροι μεγάλης αντοχής και ανυψωτικής ικανότητας. Κατά την διάρκεια των δοκιμών καταγράφονται οι μεταβολές των φορτίων των τεσσάρων τροχών. Ο γεωργικός ελκυστήρας με τη βοήθεια κεκλιμένου επιπέδου (ράμπας) ανέρχεται στο επάνω μέρος της τράπεζας δοκιμών, κινείται επάνω στα ειδικά διαμορφωμένα χαλυβδοελάσματα και κατευθύνεται στην κατάλληλη θέση για την εκτέλεση της δοκιμής. Η μεταβολή της κλίσης της τράπεζας και του προς δοκιμή ελκυστήρα, τόσο κατά το διαμήκη όσο και τον εγκάρσιο άξονα, επιτυγχάνεται με την ανεξάρτητη μεταβολή του ύψους των τεσσάρων υδραυλικών κυλίνδρων. Οι υδραυλικοί κύλινδροι είναι απλής ενεργείας, τηλεσκοπικοί, με μέγιστη διαδρομή 75 cm και ανυψωτικής ικανότητας 10.000 kg.

Σχήμα 2. Γενική όψη της ρυθμιζόμενης τράπεζας δοκιμών με τις αυτόματες ηλεκτρονικές μονάδες ζύγισης.

3.ΔΟΚΙΜΕΣ - ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

3.1. Ανάλυση των δυνάμεων και υπολογισμός των γωνιών για εγκάρσια πορεία δεξιά

Στο Σχήμα 3, αναλύονται οι συνιστώσες δυνάμεις του βάρους **G**, της θέσης του κέντρου βάρους. Το κέντρο βάρος του γεωργικού ελκυστήρα με βάση τους υπολογισμούς που πραγματοποιήθηκαν καθορίζεται επάνω στο (Δ.Δ.Ε.) **C,** το οποίο βρίσκεται προς τη δεξιά πλευρά από το (Δ.Ε.Σ.). Το (Δ.Δ.Ε.) **C** αποκλίνει από το (Δ.Ε.Σ.), προς τη δεξιά πλευρά σε μία απόσταση **c.** Αυτό δημιουργεί διαφορετικές επιτρεπόμενες γωνίες για εγκάρσια πορεία δεξιά ή αριστερά. Για τον υπολογισμό της μέγιστης θεωρητικής, για στατική κατάσταση επιτρεπόμενη γωνίας κλίσης για εγκάρσια πορεία προς τη δεξιά πλευρά, χρησιμοποιείται η σχέση 1, των συνθηκών ισορροπίας, λαμβάνοντας ροπές ως προς το σημείο επαφής του οπίσθιου δεξιού τροχού με το έδαφος σχήμα 3.

$$\Sigma M\Delta = 0 \rightarrow RA * B\Pi - V*[(B\Pi / 2) - c] + H*h = 0 \qquad (1)$$

Από το Σχήμα 3, προκύπτει για την οριζόντια συνιστώσα Η, του βάρους G, η σχέση 2:

$$H=G*\eta\mu\omega. \qquad (2)$$

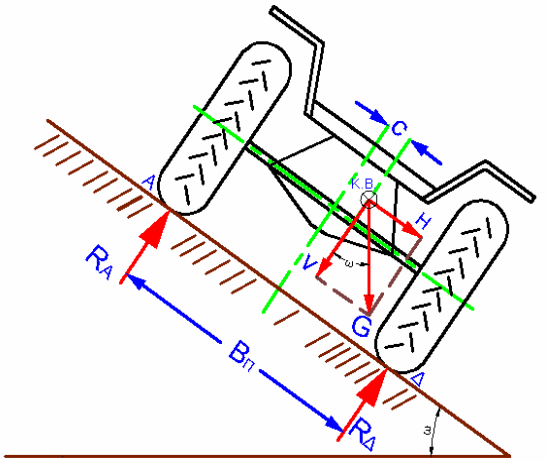
Για την κατακόρυφη συνιστώσα V, του βάρους G, προκύπτει η σχέση 3:

$$V = G* \sigma\upsilon\nu\omega. \qquad (3)$$

Για να καθοριστεί η μέγιστη επιτρεπόμενη γωνία κλίσης για εγκάρσια δεξιά πορεία θα πρέπει να μηδενιστεί η αντίδραση στην αριστερή πλευρά, δηλαδή να είναι $\mathbf{R_A = 0}$.

Με συνδυασμό των σχέσεων 1, 2 και 3, προκύπτει η σχέση 4, η οποία καθορίζει τη γωνία για εγκάρσια δεξιά πορεία.

$$\varepsilon\varphi\omega = [(B\Pi / 2) - c] / h \qquad (4)$$



Σχήμα 3. Ανάλυση των αναπτυσσομένων δυνάμεων κατά την εγκάρσια πορεία δεξιά.

Λαμβάνοντας υπόψη τις συντεταγμένες του κέντρου βάρους, το ύψος από το έδαφος,
h = 0,835 m, καθώς και την απόκλιση c = 0,0127 m,
Από τη σχέση 4, προκύπτει:
εφω = 1,50 / 2 - 0,0127 / 0,835 = 0,882994 → ω = 41,50 ή ΕΔ. = 41,50.
Άρα η μέγιστη επιτρεπόμενη γωνία για εγκάρσια δεξιά πορεία σε έδαφος με κλίση είναι:
ΕΔ. = 41,50.

Σχήμα 4. Ο γεωργικός ελκυστήρας επάνω στην τράπεζα δοκιμών για καθορισμό των αντιδράσεων και των γωνιών για δεξιά πορεία.

3.2. Πειραματικός προσδιορισμός των αντιδράσεων και των γωνιών λόγω της άρθρωσης στον πρόσθιο άξονα του ελκυστήρα Renault 361

Όπως είναι γνωστό και φαίνεται και στο Σχήμα 5., ο πρόσθιος άξονας έχει τη δυνατότητα της κατακόρυφης ανεξάρτητης μετατόπισής του. Η δοκιμή πραγματοποιείται όταν η γωνία κλίσης του πρόσθιου άξονα ξεπερνά τη μέγιστη δυνατή γωνία και αγγίζει τα σταθερά τμήματα του ελκυστήρα. Η δοκιμή πραγματοποιείται με τον ελκυστήρα επάνω στην πειραματική τράπεζα δοκιμών και οι τροχοί του πρέπει να εφάπτονται στο μέσον των αυτόματων ηλεκτρονικών μονάδων ζύγισης.

3.2.1. Ανύψωση του πρόσθιου αριστερού τροχού

Η κίνηση αυτή επιτυγχάνεται λόγω του αρθρωτού σημείου σύνδεσης, που υπάρχει στο κάτω σημείο του πρόσθιου μέρος του σώματος του ελκυστήρα και συμβάλλει στην

καλύτερη συμπεριφορά του ελκυστήρα όταν κινείται σε εδάφη με ανωμαλίες ή αλλάζει κατεύθυνση πορείας, δηλαδή στις στροφές, από την ανάπτυξη της φυγόκεντρης δύναμης.

Οι ανωμαλίες αυτές συμβάλλουν πάρα πολλές φορές στην απώλεια της ευστάθειας κατά τη διάρκεια της κίνησης του ελκυστήρα. Η ανεξάρτητη κατακόρυφη κίνηση δίνει τη δυνατότητα να περάσει ο αντίστοιχος τροχός από το σημείο της ανωμαλίας του εδάφους χωρίς να προκαλέσει μεταφορά βάρους στον οπίσθιο άξονα και να επιταχύνει μία αστάθεια προκαλώντας έτσι πολλές φορές ακόμη και ανατροπή.

Η ανατροπή προκαλείται εάν το ύψος της ανωμαλίας είναι μεγαλύτερο από την επιτρεπόμενη ανεξάρτητη μετατόπιση του κάθε τροχού.

Στην περίπτωση αυτή, εάν εξαντληθεί η ελεύθερη μετατόπιση των τροχών, δηλαδή το ύψος της ανωμαλίας είναι μεγάλο, η αναπτυσσόμενη αντίδραση μεταφέρεται από την επιφάνεια της επαφής του τροχού με το έδαφος στο ακρόμπαρο του τροχού και στη συνέχεια μέσω αυτού στον πρόσθιο άξονα. Ο πρόσθιος άξονας μεταφέρει την αντίδραση αυτή στο αρθρωτό σημείο σύνδεσης που βρίσκεται στο πρόσθιο κάτω μέρος του σώματος του ελκυστήρα. Το σημείο αυτό πολλές φορές συμπίπτει με το διάμηκες επίπεδο συμμετρίας. Εάν η δύναμη της αντίδρασης αυτής είναι πολύ μεγάλη ανασηκώνεται το πρόσθιο μέρος και στη συνέχεια η ροή αυτής της αντίδρασης μέσω του σώματος του γεωργικού ελκυστήρα καταλήγει στον οπίσθιο άξονα, με αποτέλεσμα να ανασηκώνεται από το έδαφος και ο οπίσθιος τροχός.

Σχήμα 5. Μεταβολή της οριζοντιότητας του πρόσθιου αριστερού τροχού.

Στις περιπτώσεις αυτές μπορεί να προκληθεί στρέβλωση του πρόσθιου άξονα, αν το βάρος του ελκυστήρα είναι πολύ μεγάλο. Εάν π.χ. ο αριστερός πρόσθιος τροχός συναντήσει μία ανωμαλία (ένα ύψωμα) κατά τη διάρκεια της κίνησής του και η εμφανιζόμενη αντίδραση δεν αποσβεστεί λόγω της κατακόρυφης ελεύθερης μετακίνησης του πρόσθιου άξονα, τότε η αντίδραση αυτή θα μεταφερθεί στο σημείο της άρθρωσης στο πρόσθιο μέρος του σώματος του ελκυστήρα. Στη συνέχεια, επειδή δεν υπάρχει σύστημα απόσβεσης των κραδασμών (αμορτισέρ), καταλήγει στο σημείο επαφής του οπίσθιου αριστερού τροχού με το έδαφος. Τότε αρχίζει να ανασηκώνεται

από το έδαφος και ο οπίσθιος τροχός, με αποτέλεσμα, εάν ο ελκυστήρας τυγχάνει να κινείται σε έδαφος με κλίση, δεξιά, η πλάγια πτώση του είναι αναπόφευκτη. Όμοια ροή δυνάμεων αναπτύσσεται όταν ο πρόσθιος δεξιός τροχός συναντήσει ένα εμπόδιο κατά τη διάρκεια της πορείας του.

Από τις δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν σε οριζόντια θέση και σε θέση με κλίση του αριστερού πρόσθιου τροχού δημιουργείται ο Πίνακας 1.

Πίνακας. 1. Μεταβολή της κατανομής του βάρους των πρόσθιων τροχών σε συνάρτηση με το ύψος ανύψωσης του αριστερού πρόσθιου τροχού.

Θέση	**Ύψος m**	**Τροχός $G_{\Delta E}$ kg**	**Τροχός $G_{\Delta E}$ kg**	**Σύνολο R_E kg**
Οριζόντια	0,0	290	310	600
Με κλίση	0,33	220	380	600

Από τη δοκιμή που πραγματοποιήθηκε στην τράπεζα δοκιμών, όπως φαίνεται στο σχήμα 5 και καταγράφεται στον Πίνακα 1. το μέγιστο επιτρεπόμενο ύψος που επιτρέπει η άρθρωση ν΄ ανυψωθεί ο πρόσθιος αριστερός τροχός είναι $\mathbf{Y\psi_A = 33\ cm}$ και η δημιουργούμενη γωνία σε σχέση με το οριζόντιο επίπεδο είναι $\boldsymbol{\omega = 13{,}74^0}$. Πάνω από το ύψος αυτό αρχίζει να εφάπτεται ο πρόσθιος άξονας στο πρόσθιο τμήμα του σώματος του ελκυστήρα, με αποτέλεσμα εάν συνεχιζόταν η ανύψωση του υδραυλικού κυλίνδρου της τράπεζας δοκιμών, (υπάρχει αυτή η δυνατότητα), να υπήρχε κίνδυνος παραμόρφωσης του πρόσθιου άξονα και επιβάρυνση του οπίσθιου αριστερού τροχού.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Κατά τη διάρκεια της ανύψωσης από την οριζόντια θέση του αριστερού πρόσθιου τροχού μέχρι τη μέγιστη, δηλαδή σε ύψος 0,33 m, παρατηρήθηκε μία προοδευτική μεταφορά βάρους από τον πρόσθιο αριστερό τροχό στο δεξιό πρόσθιο τροχό. Όπως φαίνεται στον Πίνακα 1, η μεταφορά είναι 160 kg. Επίσης, δεν υπήρξε μεταφορά βάρους από τον πρόσθιο άξονα προς τον οπίσθιο, μέχρι το ανώτατο ύψος των 0,33 m.

Το ίδιο φαινόμενο με τον πρόσθιο άξονα συμβαίνει όταν και ο πίσω τροχός συναντήσει μία ανωμαλία στο έδαφος, ο παράγοντας μεταφοράς βάρους εμφανίζεται στον αντίστοιχο πίσω τροχό. Εάν οι ανωμαλίες του εδάφους ή η διαφορά κλίσης είναι μεγαλύτερη από 33 cm, ή $13{,}74^0$ τότε ο παράγοντας μεταφοράς βάρους μεταφέρεται και στον πρόσθιο άξονα, και αρχίζει η αστάθεια του ελκυστήρα και πολλές φορές επιταχύνεται η ανατροπή.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.

1. Γιαλαμάς. Α.Θ., και άλλοι 2003. Τράπεζα δοκιμών για τον καθορισμό της ευστάθειας γεωργικών μηχανημάτων. Πρακτ. 3ου Πανελληνίου Συνεδρίου ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ της Εταιρείας Γεωργικών Μηχανικών Ελλάδος. ΕΓΜΕ. Θεσσαλονίκη. 238-245.
2. Crolla. D.A.. Spencer H.B.. 1984. Tractor handling during control loss on sloping ground. Vehicles System Dynamics. 13:1. 1-17.
3. Hunter. AGM.. 1981. Tractor safety on slopes. Agricultural Manpower. (3). 2-3.
4. Hunter. AGM.. 1981. Tractor overturning accidents on slopes. Technical Report. Scottish Institute of Agricultural Engineering. (3) 26.
5. Hunter. AGM.. 1981. Tractor safety on slopes.Agricultural Manpower. 36:4. 95-98.
6. Hunter. AGM.. Owen. GM.. 1983. Tractor overturning accidents on slopes. Journal of occupational Accidents. 5:353. 195-210.

7. Kim. K.U.. Salokhe V.M.(ed.). Ilangantileke S.G.(ed.). 1990. Lateral stability of agricultural tractors on slopes. Proc. Of the international agricultural engineering conference and exhibition. Bangkok. Thailand. 19-28.
8. Spencer. H.B.. 1982. Tractor accidents on slopes-review-progress-solutions. Agricultural Manpower. (5) 12–14.
9. Spencer. H.B.. 1982. Tractor accidents on slopes-review-progress-solutions. Proc. Of the 21st CIOSTA-CIGR(V) Congress (Ed. Agricultural development and Advisory Service and Institute of Management Services). London. U.K.. 128-138.
10. Spencer. H.B.. Crolla D.A.. 1984. Control of tractors on sloping ground. Proc. Of 8th Int. conference of International Society for Terrain Vehicle Systems. Cambridge. U.K.. Vol.2. 635-653.
11. Τσατσαρέλης. Α. Κ.. 1997. Γεωργικοί Ελκυστήρες. Εκδόσεις Γιαχούδη-Γιαπούδη. Θεσσαλονίκη.

(160)

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ, ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΚΑΙ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΟΣ ΣΥΓΚΟΜΙΔΗΣ ΤΟΥ ΑΝΘΟΥΣ ΤΗΣ ΛΕΒΑΝΤΑΣ

Χ. Ι. Δημητριάδης[1,3], J. L. Brighton[2], Ι. Κόκκορας[1], Ι. Γράβαλος[1], Θ.Α. Γιαλαμάς[1]

[1] Ανώτατο Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Λάρισας, Σχολή Τεχνολογίας Γεωπονίας, Τμήμα Γεωργικών Μηχανών & Αρδεύσεων, Τ.Κ. 41110, Λάρισα

[2] National Soil and Resources Institute, Cranfield University, Silsoe, MK45 4DT, Bedfordshire, UK

[3] Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης, Ν.Α. Κοζάνης, Τμήμα Εκμηχάνισης της Γεωργίας και Λειτουργίας Έργων, Τ.Κ. 50100, Κοζάνη e-mail : Dimchristos@hotmail.com

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο σχεδιασμός, η κατασκευή και η βελτιστοποίηση ενός μηχανήματος βαδιστικού τύπου μιας σειράς, για τη συγκομιδή του άνθους της λεβάντας, χρησιμοποιώντας την τεχνική της απόσπασης παρουσιάζεται σε αυτή την εργασία. Τα σχεδιαστικά χαρακτηριστικά του μηχανήματος ήταν τέτοια ώστε να μπορεί να συγκομίζει τα άνθη του φυτού αφήνοντας την πλειονότητα των στελεχών άθικτα. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το προτεινόμενο μηχάνημα είχε τη δυνατότητα να συγκομίσει το 96.7 % των ανθέων του φυτού.

THE DESIGN OF A LAVENDER HARVESTER FOR IN FIELD FLOWER REMOVAL

C. I. Dimitriadis,[1,3] J. L. Brighton,[2] I. Kokkoras,[1] I. Gravalos,[1] Th. A Gialamas[1]

[1] Department of Agricultural Engineering, Technological Educational Institute of Larisa T.K. 41110, Larissa, Greece

[2] National Soil and Resources Institute, Cranfield University, Silsoe, MK45 4DT, Bedfordshire, UK

[3] Ministry of Agriculture at Kozani, Department of Agriculture, Mechanisation Systems, NW Macedonia, T.K. 50100, Kozani, Greece e-mail : Dimchristos@hotmail.com

ABSTRACT

The design, manufacture and optimisation of a single row lavender harvester using the stripping technique are presented in this paper. The design specifications of the machine were to be able to harvest the flower heads of the plant leaving the majority of the stems intact. The results showed that the proposed machine was capable to remove the 96.7% of the plant flower heads.

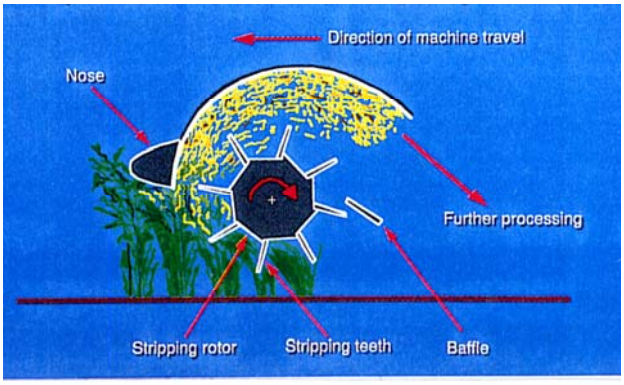
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η εκμηχάνιση της συγκομιδής των γεωργικών προϊόντων επεκτάθηκε στην πλειονότητα των καλλιεργειών. Για πολλές καλλιέργειες το κόστος εργασίας της συγκομιδής καταλαμβάνει το ½ έως τα ¾ του συνολικού κόστους παραγωγής [7]. Οι απαιτήσεις σε εργασία στην πλειονότητα των συγκομιζόμενων προϊόντων χρειάζονται να εφαρμοσθούν σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα. Η μηχανοποίηση συνεισφέρει στην βελτίωση της αποδοτικότητας με την μείωση του χρόνου συγκομιδής [12], και προτρέπει την αύξηση των καλλιεργήσιμων εδαφών [8]. Επομένως, υπάρχει πάντοτε η ανάγκη για την εισαγωγή νέων ή την βελτίωση των ήδη υπαρχόντων μεθόδων συγκομιδής για την βελτίωση της απόδοσης με σκοπό τη μείωση του κόστους παραγωγής.

Τις τελευταίες δεκαετίες έχει υπάρξει αύξηση στο ενδιαφέρον για τη χρήση των αρωματικών φυτών και ιδιαίτερα των αιθέριων ελαίων τους. Μεταξύ του 1993 και του 1998, η παγκόσμια ανάγκη για αιθέρια έλαια αυξήθηκε κατά μέσο όρο 6.1%, για αποστάγματα βοτάνων 15.9% και για χημικές ουσίες παραλαμβανόμενες από φυτά κατά 9.8% [13]. Η αυξανόμενη ανάγκη για αιθέρια έλαια και αποστάγματα φυτών προήλθε κυρίως από βιομηχανίες αρωμάτων, καλλυντικών, φαγητού και φαρμακευτικές εταιρίες που τα χρησιμοποιούν.

Οι συμβατικές μέθοδοι συγκομιδής της λεβάντας όπως η συγκομιδή με το χέρι και η μηχανική συγκομιδή χρησιμοποιούν έναν μηχανισμό κοπής και συλλέγουν τα στελέχη μαζί με τα άνθη τους. Αυτό βρέθηκε να είναι μια λιγότερο αποδοτική μέθοδος για τη συγκομιδή της λεβάντας και την παραγωγή αιθέριου ελαίου επειδή το μεγαλύτερο μέρος που παράγεται από το φυτό (97.5% κ.β.) βρίσκεται στα άνθη του [11]. Με τη χρήση των συμβατικών μεθόδων συλλογής στο συγκομιζόμενο προϊόν εμπεριέχεται μεγάλο μέρος του στελέχους του φυτού αυξάνοντας με αυτόν τον τρόπο την μάζα και τον όγκο του. Το γεγονός αυτό έχει σαν αποτέλεσμα: 1) την αύξηση των εξόδων μεταφοράς και απόσταξης του φυτού, 2) την ανάγκη για πιο απαιτητικό σχεδιασμό μηχανημάτων για την μηχανοποίηση της καλλιέργειας και 3) την απομάκρυνση θρεπτικών στοιχείων που θα μπορούσαν να παραμείνουν στο χωράφι.

Η δημιουργία και η εξέλιξη ενός πρωτότυπου μηχανήματος βαδιστικού τύπου μιας σειράς για τη συγκομιδή της λεβάντας, παρουσιάζεται σε αυτή την εργασία. Το μηχάνημα έχει αναπτυχθεί υιοθετώντας την τεχνική της απόσπασης, η οποία χρησιμοποιήθηκε για τη συγκομιδή δημητριακών [2],[3],[4],[5],[6], (Σχήμα 1)). Η λειτουργία του μηχανήματος εφαρμόζει με έναν μοναδικό τρόπο για την καλλιέργεια, την αφαίρεση των ανθέων από το φυτό, αφήνοντας την πλειοψηφία των στελεχών άθικτων. Για τον καθορισμό της αποδοτικότητας του μηχανήματος, μια μεθοδολογία αναπτύχθηκε κατά τη διάρκεια πειραματικού προγράμματος, στο οποίο μετρήθηκε το ποσοστό των συγκομιζόμενων ανθέων.

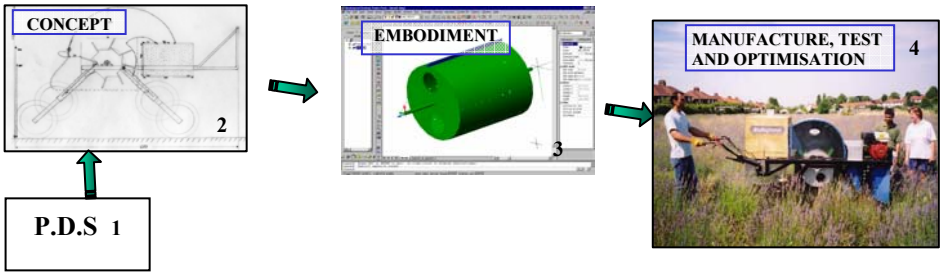


Σχήμα 1. Διαδικασία της απόσπασης με τη χρήση στροφείου και δακτύλων

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Η διαδικασία κατασκευής του μηχανήματος περιελάμβανε μια ερευνητική μεθοδολογία υιοθετώντας τέσσερα στάδια. Τα στάδια αυτά ήταν: α) βιβλιογραφική ανασκόπηση για το φυτό της λεβάντας και των μηχανημάτων συγκομιδής της, β) σχεδιασμό και κατασκευή του μηχανήματος, γ) αξιολόγηση του μηχανήματος και δ) σύγκριση του μηχανήματος με άλλα ήδη υπάρχοντα μηχανήματα συγκομιδής της λεβάντας. Στην παρούσα εργασία θα αναλυθεί εκτενέστερα ο σχεδιασμός και η κατασκευή του μηχανήματος και θα σχολιασθούν τα αποτελέσματα των πρώτων πειραμάτων.

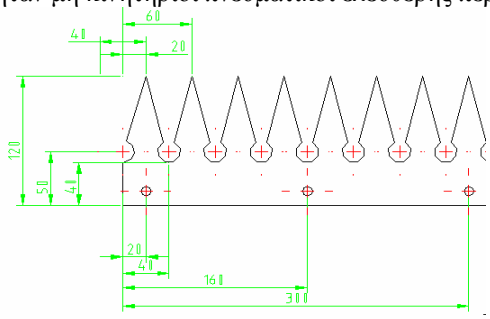
Για το σχεδιασμό του μηχανήματος ακολουθήθηκε μια διαδικασία που καταμερίζει την ολοκλήρωση της εργασίας όπως αυτή αναφέρεται από τους Pahl and Beitz **[9]**, στα ακόλουθα στάδια : α) οι προδιαγραφές του σχεδίου του προϊόντος (Product design specifications, (P.D.S)), β) το εννοιολογικό σχέδιο (conceptual design) - πιθανές λύσεις και βαθμονόμηση αυτών με επιλογή της επικρατέστερης, γ) το σχέδιο ενσωμάτωσης (embodiment design) - η λεπτομερειακή ανάλυση της επικρατέστερης λύσης και τέλος δ) ο λεπτομερειακός σχεδιασμός (detail design) της προτεινόμενης λύσης με το μέγεθος και τις διαστάσεις του. Στο τέλος της παραπάνω διαδικασίας το μηχάνημα κατασκευάσθηκε στα εργαστήρια του Cranfield University, Silsoe στην Αγγλία και δοκιμάσθηκε σε συνθήκες αγρού (Σχήμα 2).



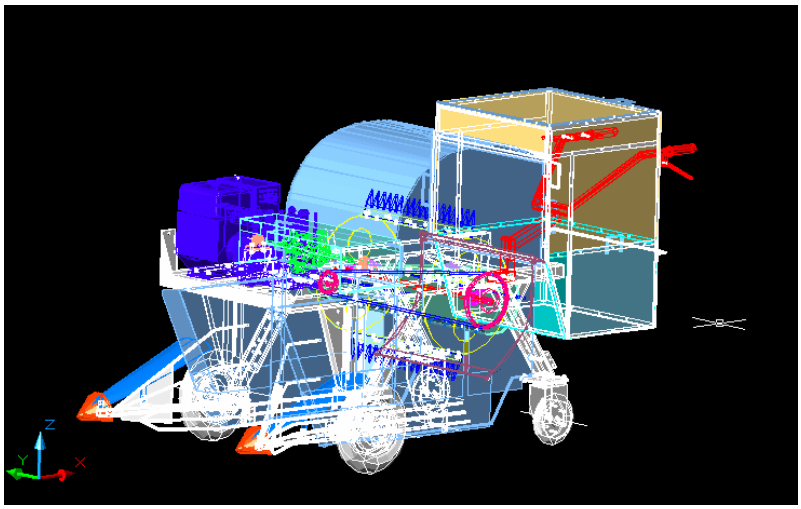
Σχήμα 2. Διαδικασία σχεδιασμού

Το μηχάνημα που κατασκευάσθηκε ήταν αυτοκινούμενο μιας σειράς συγκομιδής βαδιστικού τύπου (Σχήματα 4, 5). Περιελάμβανε πλαίσιο από χάλυβα πάχους 4 mm, βενζινοκινητήρα 7 kW, κιβώτιο επιλογής σχέσεων τριών εμπρόσθιων και μιας οπίσθιας σχέσης μετάδοσης με χειρομοχλό και δυο εξόδους για την μετάδοση της κίνησης. Μια

έξοδο για την ισχυοδότηση του στροφείου με τροχαλία και ιμάντα και μια για τη μετάδοση της κίνησης στους κινητήριους πνευματικούς τροχούς μέσω διαφορικού με αλυσίδα και οδοντωτούς μεταλλικούς τροχούς. Το στροφείο αποτελούταν από κύλινδρο διαμέτρου 0.78 m **[1]** και πλάτους 0.80 m. Έφερε επίσης περιφερειακά και σε ίσες αποστάσεις ανά 90° εύκαμπτους δακτυλίους απόσπασης σε σχήμα V **[10]**, (Σχήμα 3). Η κατεύθυνση περιστροφής κατά τη διαδικασία της συγκομιδής ήταν τέτοια ώστε οι δάκτυλοι να εφαρμόζουν από το κάτω μέρος του στελέχους προς τα επάνω στο άνθος και να προκαλούν απόσπαση. Η πηγή ισχύος βρισκόταν στο μπροστινό μέρος και πάνω από τους κινητήριους τροχούς. Στο πίσω μέρος βρίσκονταν το δοχείο προσωρινής αποθήκευσης του συγκομιζόμενου προϊόντος με δυο συρταρωτά ανοίγματα για το άδειασμα του. Το δοχείο ήταν επενδυμένο με διάτρητο μεταλλικό πλέγμα στα ¾ της επιφάνειας του για την εκτόνωση του αέρα που δημιουργούνταν από το στροφείο. Τα χειριστήρια ελέγχου βρισκόταν στο πίσω μέρος σε δυο σωληνωτές χειρολαβές που ήταν και το τιμόνι του οχήματος. Στον έλεγχο της οδήγησης του οχήματος συντελούσαν οι δυο πίσω τροχοί που ήταν μη κινητήριοι πνευματικοί ελεύθερης περιστροφής.



Σχήμα 3. Διαστάσεις εύκαμπτων δακτύλων απόσπασης (οι τιμές είναι σε mm).



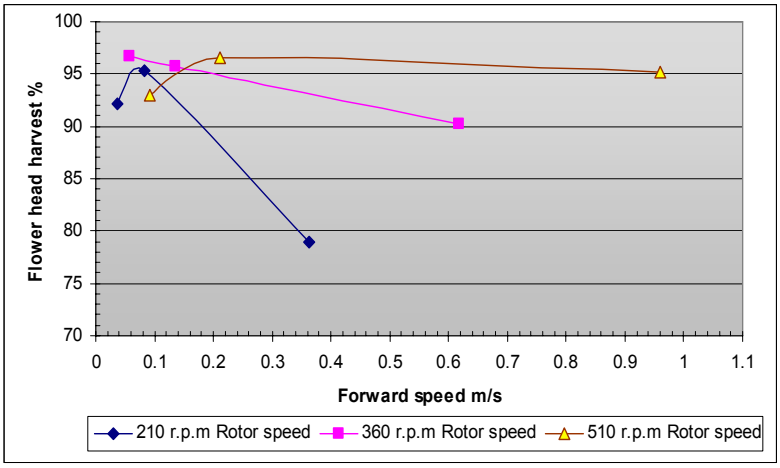
Σχήμα 4. Τρισδιάστατη απεικόνιση του μηχανήματος μετά το σχεδιασμό του σε Η/Υ

Σχήμα 5. Πλάγια θέα του μηχανήματος

Στα πλαίσια της αρχικής αξιολόγησης του μηχανήματος, πειράματα έλαβαν χώρα σε αγρό έκτασης 1.2 ha, στην περιοχή Carlshalton στο Νότιο Λονδίνο. Αναπτύχθηκε μεθοδολογία που περιελάμβανε τον υπολογισμό των ανθέων που συγκομίσθηκαν. Αυτό γινόταν με την καταμέτρηση του αρχικού αριθμού τους σε επιλεγείσα έκταση 1 m (μήκους σειράς), πριν το πέρασμα με το μηχάνημα και την αφαίρεση στη συνέχεια των απωλειών που μετρούνταν μετά το πέρασμα του για κάθε μεταχείριση. Το πείραμα περιελάμβανε εννέα μεταχειρίσεις (3 ταχύτητες εμπρόσθιας κίνησης, 1ης , 2ης, 3ης του κιβωτίου σχέσεων και 3 ταχύτητες περιστροφής του στροφείου, 210 r.p.m, 360 r.p.m, και 510 r.p.m). Για κάθε μεταχείριση υπήρξαν 2 επαναλήψεις με πλήρως τυχαιοποιημένη σειρά σε 2 πειραματικά τεμάχια. Τα φυτά ανήκαν στο υβρίδιο λεβάντας "Grosso" και βρίσκονταν στο τρίτο έτος της καλλιέργειας τους. Η καλλιέργεια στον αγρό ήταν σε σειρές μήκους 75 m και είχαν 1 m απόσταση μεταξύ τους, με μέσο όρο πλάτους των φυτών 0.80 m και μέσο όρο ύψους 0.90 m.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο σχήμα 6. Είναι φανερό ότι τόσο η ταχύτητα κίνησης του μηχανήματος, όσο και η ταχύτητα περιστροφής του στροφείου επηρεάζουν το ποσοστό των ανθέων που συγκομίζονται. Σε όλες τις ταχύτητες περιστροφής παρατηρήθηκε μια διαφοροποίηση του ποσοστού του συγκομισμένου άνθους σε σχέση με την ταχύτητα κίνησης του μηχανήματος. Έτσι για τις 210 r.p.m παρατηρήθηκε μια καμπύλη στην απόδοση που στην αρχή ήταν χαμηλή 92.2%, στη συνέχεια αυξήθηκε 95.3% και στο τέλος μειώθηκε 78.9%. Στις 360 r.p.m παρατηρήθηκε μια σταδιακή μείωση που στην αρχή ήταν 96.7%, στη συνέχεια μειώθηκε 95.8% και στο τέλος μειώθηκε περισσότερο φτάνοντας 90.3%. Τέλος για τις 510 r.p.m παρατηρήθηκε μια καμπύλη στην απόδοση που στην αρχή ήταν χαμηλή 92.9%, στη συνέχεια αυξήθηκε 96.5% και στο τέλος μειώθηκε 95.3%. Τα καλύτερα αποτελέσματα (96.7% αποσπασμένα άνθη) πάρθηκαν με ταχύτητα περιστροφής του στροφείου 360 r.p.m και ταχύτητα κίνησης 0.058 m/s (0.21 km/h).



Σχήμα 6. Γραφική απεικόνιση των αποτελεσμάτων του αρχικού πειράματος.

Τα αποτελέσματα που προβάλλονται στο σχήμα 6 είναι τα τελευταία μιας σειράς δοκιμών που πραγματοποιήθηκαν στο αρχικό πείραμα. Το μηχάνημα δοκιμάστηκε και σε νεότερα φυτά (ύψος και πλάτος φυτών = ½ των φυτών που χρησιμοποιήθηκαν στο περιγραφόμενο πείραμα) που βρισκόταν στο 1ο και 2ο έτος καλλιέργειας τους με αποτελέσματα υποδεέστερα (συγκομιδή του άνθους κατά μέσο όρο 50%). Οι διαστάσεις του φυτού και ειδικότερα το ύψος και το πλάτος του έπαιξαν καθοριστικό ρόλο στη συγκομιδή. Τα προβλήματα αποφεύχθηκαν εν μέρη όταν τροποποιήθηκε το μηχάνημα (σχήμα 7) ούτως ώστε α) να μπορεί να μειώνει το ύψος του περισσότερο από ότι υπολογίσθηκε στον αρχικό σχεδιασμό και β) να μπορεί να μειώνει το εσωτερικό πλάτος εργασίας με την προσθήκη μεταλλικών οδηγών για την καθοδήγηση των φυτών στο κέντρο του στροφείου.

Σχήμα 7. Τροποποιήσεις του μηχανήματος για τη συγκομιδή νεαρότερων φυτών της λεβάντας

Θα πρέπει ακόμη να αναφερθεί ότι η διαδικασία εξέλιξης του μηχανήματος περιελάμβανε την τροποποίηση ορισμένων μερών του μετά τα πρώτα πειράματα. Έτσι ιδιαίτερη προσοχή δόθηκε στον επανασχεδιασμό των καλυμμάτων που περιέβαλαν το στροφείο για την καλύτερη διευθέτηση του ρεύματος αέρα που δημιουργούνταν από την περιστροφή του. Αυτό έγινε για την ομαλότερη και αποδοτικότερη μεταφορά του αποσπασμένου άνθους από το φυτό στο δοχείο προσωρινής αποθήκευσης. Επίσης στο εν λόγω δοχείο έγινε εγκατάσταση ανοιγόμενης οροφής για την απελευθέρωση πριν του αδειάσματος του, των εγκλωβισμένων εντόμων (κυρίως μελισσών) για την ασφάλεια

του χειριστή. Επανασχεδιασμός χρειάστηκε και στον τρόπο αυξομείωσης της αλυσίδας μετάδοσης της κίνησης από το διαφορικό στις τελικές μεταδόσεις, με την προσθήκη ενδιάμεσων ανεξάρτητων μεταλλικών τροχών για την ευκολότερη αυξομείωση του ύψους εργασίας του μηχανήματος. Με τις παραπάνω τροποποιήσεις επιτεύχθηκε η συγκομιδή σε άριστο βαθμό όπως προκύπτει από τα δεδομένα του σχήματος 6 αλλά και των σχημάτων 8 και 9 όπου φαίνεται τόσο το μεγάλο ποσοστό συγκομισθέντων ανθέων (Σχήμα 8) όσο και η καθαρότητα του συγκομισθέντος προϊόντος (Σχήμα 9).

Σχήμα 8. Φυτά μετά τη συλλογή του άνθους

Σχήμα 9. Συγκομιζόμενο προϊόν μετά το άδειασμα του δοχείου προσωρινής αποθήκευσης

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τα στοιχεία που παρουσιάστηκαν στην παρούσα εργασία μπορεί να εξαχθούν τα ακόλουθα συμπεράσματα :

1. Η μέθοδος της απόσπασης που έχει χρησιμοποιηθεί για την συγκομιδή δημητριακών μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για την συγκομιδή της λεβάντας.
2. Τα διαφορετικά φυσικά χαρακτηριστικά του φυτού της λεβάντας σε σχέση με αυτά των δημητριακών όπως το σιτάρι και το κριθάρι δεν ήταν εμπόδιο στην εφαρμογή της μεθόδου με επιτυχία.
3. Το μηχάνημα που σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε λειτούργησε άριστα στην περίοδο δοκιμών με πολύ καλά αποτελέσματα.
4. Από τους βασικούς παράγοντες που επηρεάζουν το αποτέλεσμα της συγκομιδής είναι η ταχύτητα κίνησης του μηχανήματος και η ταχύτητα περιστροφής του στροφείου. Τα καλύτερα αποτελέσματα (96.7% αποσπασμένα άνθη) πάρθηκαν με ταχύτητα περιστροφής του στροφείου 360 r.p.m και ταχύτητα κίνησης 0.058 m/s (0.21 km/h).
5. Η χρήση της τεχνικής της απόσπασης για τις συγκεκριμένες διαστάσεις του μηχανήματος δεν λειτούργησε ικανοποιητικά για νεαρά φυτά στο 1ο και 2ο έτος ανάπτυξης τους.

5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Dimitriadis C.I., 2005. PhD Thesis. *The design of an improved efficiency lavender harvester.* Cranfield University, Silsoe,UK.
2. Hobson, N.R.; Price, J.S.; Tuck, C.R.; Neale M.A. and Hale, O.D. 1988. Evaluation and development of the grain stripping header system-1986. Divisional Note 1443, *AFRC Institute of Engineering Research,* p 56-58
3. Klinner, W.E.; Neal M.A.; Arnold R.E.; Geike A.A. and Hobson, N.R. 1986. Development and first evaluations of an experimental grain stripping header for combine harvesters. Divisional Note 1315, *National Institute of Agricultural Research,* p 1-3
4. Klinner, W.E.; Neale M.A.; Geike A.A. and Hobson, N.R. 1986. Feasibility assessments of an in-situ grain and seed stripping mechanism. Divisional Note 1316, *National Institute of Agricultural Research,* p 1-6
5. Klinner, W.E.; Neal M.A.; Arnold R.E.; Geike A.A. and Hobson, N.R. 1986. Development and first evaluations of an experimental grain stripping header for combine harvesters. Divisional Note 1315, *National Institute of Agricultural Research,* p 25-27 (for rotor diamentions)
6. Klinner, W.E.; Neale M.A.; Geike A.A. and Hobson, N.R. 1986. Feasibility assessments of an in-situ grain and seed stripping mechanism. Divisional Note 1316, *National Institute of Agricultural Research,* p 11-19
7. Morris, J.R. 1990. Mechanized production, harvesting, and handling systems have been developed to meet increasing consumer demands for fruits and vegetables. *Food technology,* 44 (2): 97-101
8. Murphy, M.C. 1996. *Report on farming in the Easter countries*. Cambridge University Press: Cambridge, UK
9. Pahl, B. & Beitz, W. 1996. *Engineering design: a systematic approach*. 2nd ed. London. Springer
10. Stripper harvesting, 1994. The application of stripper harvesting technology worldwide. *Silsoe Research Institute,* p 1-22
11. Venskutonis, P.R.; Dapkevicius, A. and Baranauskiene, M. 1997. Composition of the essential oil of Lavender(*Lavandula angustifolia* mill) from Lithuania. *Journal of essential oil research,* 9(1): 107-110
12. Witney, B.D. 1988. *Choosing and Using Farm Machines*. Longman: Essex, UK
13. Wondu, 2000. http://www.rirdc.gov.au/pub/essentoi.html

(164)

ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΩΝ ΚΟΠΗΣ ΠΕΡΙΠΟΙΗΣΗΣ ΚΑΙ ΔΕΜΑΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΧΟΡΤΟΥ

Χ.Κ. Κοτσακιώτη[1], Δ.Δ. Μπόχτης[1], Ι.Α. Σπανομήτρος[1], Ι.Γ. Αμπατζίδης[1] και Κ.Α. Τσατσαρέλης[1]

[1]Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Γεωπονική Σχολή, Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας, Τ.Κ. 54124 Θυρίδα 275 Θεσσαλονίκη.
e-mail:agcharis@agro.auth.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σε αγροτεμάχιο του Αγροκτήματος του Α.Π.Θ. με καλλιέργεια μηδικής πραγματοποιήθηκαν οι εργασίες κοπής, ανάδευσης, δεματοποίησης και φόρτωσης των δεμάτων. Οι εργασίες καταγράφηκαν μέσω συστήματος GPS. Με ανάλυση των δεδομένων της καταγραφής υπολογίστηκαν οι ενεργοί και νεκροί χρόνοι με σκοπό τη διερεύνηση του βαθμού απόδοσης των μηχανημάτων στον αγρό. Ο βαθμός απόδοσης αριθμού μεταχειρίσεων και επαναλήψεων αυτών, κυμάνθηκε από 50,3% έως 85,3% για την κοπή, 84,5% έως 86,75% για την ανάδευση, ενώ για τη δεματοποίηση και τη φόρτωση είναι 87,8% και 86,9% αντίστοιχα. Οι τιμές που προέκυψαν αντιπροσωπεύουν τις εργασίες αυτές, στις επικρατούσες ελληνικές συνθήκες εκμηχάνισης.

FIELD EFFICIENCY FOR GRASS CUTTING-RATING AND BALING OPERATIONS

C.C. Kotsakioti, D.D. Bochtis, Y.A. Spanomitros, Y.G. Ampatzidis and C.A. Tsatsarelis

[1] Aristotle University of Thessaloniki, Sch. of Agriculture, Department of Agriculture Engineering, 54124, Thessaloniki. e-mail:agcharis@agro.auth.gr

ABSTRACT

Operations of grass cutting, rating and baling were performed in an experimental field located at the farm of the Aristotle University of Thessaloniki. A high accuracy GPS system was used for the recording of the geo-referenced operation data. The effective time, as well as the time loses regarding the machine performance were resulted from the evaluation of this data. The field efficiency of a number of different operations and their repetitions was: for the cutting operation in the range of 50.3-85.3%, for the rating 84.5-86.75%, while for the baling was 87.8% and for the uploading 86.9%.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα τελευταία χρόνια, η χρήση σύγχρονων συστημάτων καταγραφής δεδομένων έχει δώσει μεγάλη ώθηση στη μελέτη της απόδοσης των γεωργικών μηχανημάτων κατά την εκτέλεση της εργασίας τους στον αγρό.

Παραδοσιακά οι μελέτες για την απόδοση των γεωργικών μηχανημάτων στον αγρό, απαιτούσαν τη χρήση χρονομέτρων και την καταγραφή των παρατηρήσεων σε πίνακες [1], [2]. Οι καταγραφές αυτές ήταν επίπονες, χρονοβόρες και επιπλέον απαιτούσαν την παρουσία του ερευνητή κατά τη διάρκεια της εκτέλεσης των εργασιών [3].

Η χρήση των συστημάτων GPS για την καταγραφή των εργασιών γεωργικών μηχανημάτων, εκτός της ευκολίας που παρέχει, δίνει δεδομένα υψηλής ακρίβειας που μπορούν να επεξεργαστούν με ανάπτυξη ειδικών λογισμικών και να αξιολογηθούν χρησιμοποιούμενες πρακτικές εργασίας ή νέες προτεινόμενες μέθοδοι[4], [5], [6], [7], [8].

Η μελέτες αυτές είναι εξαιρετικά χρήσιμες στην περίπτωση που η εργασία την οποία εκτελεί η μηχανή αποτελεί μέρος μιας διαδικασίας παραγωγής διαδοχικών χρονικά εργασιών. Η συγκομιδή χορτοδοτικών φυτών ανήκει σε αυτό το είδος διαδικασιών [9].

Στην παρούσα εργασία μελετάται ο βαθμός απόδοσης (β.α.) μηχανημάτων που συμμετέχουν στη διαδικασία συγκομιδής χόρτου (μηδικής). Συγκεκριμένα ερευνώνται οι παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν τον βαθμό απόδοσης των μηχανημάτων στον αγρό,

οι οποίοι είναι: α) το ενεργό πλάτος του κάθε μηχανήματος, β) ο διαθέσιμος χώρος για ελιγμούς των μηχανημάτων στα κεφαλάρια, γ) τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του αγρού, ζ) η ταχύτητα μετακίνησης των μηχανημάτων, η) ο χρόνος για τις ρυθμίσεις και τις τυχόν εμπλοκές των μηχανημάτων και θ) ο προσωπικός χρόνος του χειριστή.

Οι πειραματικές εργασίες πραγματοποιήθηκαν σε έκταση 28,8 στρεμμάτων καλλιέργειας μηδικής του αγροκτήματος της Γεωπονικής σχολής του Α.Π.Θ. Η έκταση αυτή χωρίστηκε σε επιμέρους τμήματα, ώστε να πραγματοποιηθεί σειρά επαναλήψεων των επιμέρους εργασιών που αφορούν στην κοπή και στην περιποίηση χόρτου. Οι τροχιές των μηχανημάτων κατά τη διάρκεια της εργασίας τους, καταγράφηκαν με τη χρήση συστήματος GPS υψηλής ακρίβειας.

Η επεξεργασία των δεδομένων αφορά στον προσδιορισμό των ενεργών και των νεκρών χρόνων του κάθε μηχανήματος καθώς και στην προέλευση των τελευταίων. Στόχος είναι ο προσδιορισμός του βαθμού απόδοσης της κάθε επιμέρους εργασίας, η μεταξύ τους αλληλεπίδραση και η ποιοτική ανάλυση των χρονικών απωλειών, στην προοπτική της βελτίωσης του βαθμού απόδοσης του συνολικού συστήματος.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Οι πειραματικές εργασίες πραγματοποιήθηκαν σε αγροτεμάχιο του Αγροκτήματος του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης τον Οκτώβριο και Νοέμβριο του 2006.

Για την υλοποίηση του πειράματος χρησιμοποιήθηκαν:

1. Το σύστημα AgGPS 106 Smart Antenna της εταιρείας Trimble, ακρίβειας κάτω του ενός μέτρου.
2. Ηλεκτρονικά χρονόμετρα χειρός, για τον παραδοσιακό τρόπο καταγραφής των ενεργών και των νεκρών χρόνων.
3. Αγροτεμάχιο, συνολικής έκτασης 28,8 στρεμμάτων (120m x 240m) στο οποίο ήταν εγκατεστημένη καλλιέργεια μηδικής και το οποίο χωρίστηκε σε δύο επιμέρους όμοια τμήματα 60m x 240m το κάθε ένα, ώστε να πραγματοποιηθούν οι δύο επαναλήψεις των εργασιών της κοπής. Κάθε ένα από αυτά τα τμήματα χωρίστηκε σε επιμέρους πειραματικά τεμάχια ανάλογα με την εργασία κάθε φορά (Σχήμα 1).

4. Γεωργικός ελκυστήρας Ford 66.40 ισχύος 66Ps.
5. Ο χειριστής του ελκυστήρα. Ενα άτομο επάνω στο γεωργικό ελκυστήρα για τον έλεγχο της καταγραφής των δεδομένων και δύο άτομα στον αγρό για τη λήψη και καταγραφή των χρόνων. Κατά τη φόρτωση των δεμάτων χρειάστηκαν δύο επιπλέον εργάτες.
6. Θεριστική μηχανή με περιστρεφόμενους δίσκους GS ROTOR 4 της GRIBALDI & SALVIA με ενεργό πλάτος κοπής 1,60 m.
7. Αναδευτήρας με 4 τροχούς και μακριά δόντια συνολικής διαμέτρου 1,2 m, για την ανάδευση του χόρτου και τη συνένωση των γραμμικών σωρών ή σειρών.
8. Μηχανή δεματοποίησης του χόρτου της New Holland για μικρά ορθογωνικά δέματα.
9. Ειδικό μηχάνημα για την παραλαβή των δεμάτων από το χωράφι και τη φόρτωσή τους πάνω στην πλατφόρμα.
10. Πλατφόρμες για τη φόρτωση των δεμάτων και τη μεταφορά τους προς αποθήκευση.

Το GPS συνδέθηκε με Η/Υ, εγκαταστάθηκε στον γεωργικό ελκυστήρα (Γ.Ε.) που χρησιμοποιήθηκε στο πείραμα και κατέγραψε την πορεία του Γ.Ε. καθ' όλη τη διάρκεια των εργασιών. Τα δεδομένα αυτά παραλαμβάνονταν σε αρχεία με μοίρες δηλ. γεωγραφικές συντεταγμένες των γωνιών φ (γεωγραφικό πλάτος) και λ (γεωγραφικό μήκος) στο σύστημα WGS 84(World Geodetic System). Τα αρχεία αυτά μετέπειτα μετατράπηκαν, με μετασχηματισμούς ανώτερης γεωδαισίας, σε ορθογώνιες καρτεσιανές συντεταγμένες στο σύστημα ΕΓΣΑ 87 (Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς), με τιμές χ και ψ σε μέτρα, με δυνατή πλέον την επεξεργασία τους. Ταυτόχρονα λαμβάνονταν επί τόπου μετρήσεις των ενεργών και νεκρών χρόνων, με τα χρονόμετρα, ώστε να υπάρχουν όλα τα δεδομένα για τον υπολογισμό και τη μελέτη του βαθμού απόδοσης των διαφόρων εργασιών και επεμβάσεων και με τους δύο τρόπους.

Ως βαθμός απόδοσης των μηχανημάτων θεωρείται ο λόγος της πραγματικής προς τη θεωρητική παραγωγικότητα (ή απόδοση) του μηχανήματος στον αγρό [10], [11]:

$$E_f = \frac{C_E}{C_T} \cdot 100\%$$

όπου: E_f = βαθμός απόδοσης των μηχανημάτων στον αγρό
.. C_E, C_T = η πραγματική και θεωρητική παραγωγικότητα αντίστοιχα.

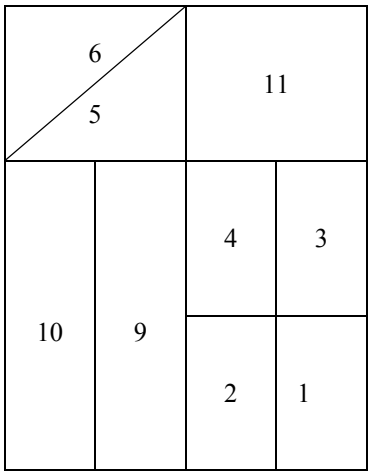
Ο βαθμός απόδοσης του μηχανήματος στον αγρό στην ουσία συγκρίνει το χρόνο που χρησιμοποιείται το μηχάνημα, σε σχέση με το συνολικό χρόνο που αυτό βρίσκεται στον αγρό [12].

Ως μεταχειρίσεις του πειράματος θεωρήθηκαν παράγοντες που επηρεάζουν το βαθμό απόδοσης των μηχανημάτων. Σκοπός του πειράματος ήταν η διερεύνηση της επίπτωσης των παραγόντων αυτών στο βαθμό απόδοσης της κάθε εργασίας, για τα ελληνικά δεδομένα.

Οι εργασίες με τη χρονική σειρά που πραγματοποιήθηκαν και αναλύονται παρακάτω είναι οι εξής: α) κοπή της μηδικής, β) ανάδευση και συνένωση γραμμικών σωρών, γ) δεματοποίηση και δ) φόρτωση δεμάτων.

2.1. Κοπή μηδικής

Το κάθε αγροτεμάχιο διαιρέθηκε, ομοίως, σε δύο επιμέρους τμήματα- 60m x 240m το καθένα, ώστε να πραγματοποιηθούν οι παρακάτω μεταχειρίσεις του πειράματος όπως φαίνεται στο σχήμα 1.



1. Μάρτυρας (15m x80m)
2. Μείωση ενεργού πλάτους κοπής (επικάλυψη) (15m x80m)
3. Μεγαλύτερο χώρος ελιγμών στο κεφαλάρι(15m x80m)
4. Ρύθμιση στο χωράφι(15m x80m) - Ασυνήθιστος θόρυβος από το μηχάνημα ανάγκασε τον χειριστή να σταματήσει για να διευθετήσει το πρόβλημα.
5. Τριγωνικό σχήμα χωραφιού (30m x80m)
6. Προσωπικός χρόνος χειριστή (σε τρίγωνο 30m x80m) - Είναι χρόνος ανεξάρτητος με την εργασία, απαιτεί διακοπή της εργασίας και αφορά στην κάλυψη προσωπικών αναγκών του χειριστή.
7. Άπειρος χειριστής (σε τρίγωνο) (30m x 80m)
8. Έμπειρος χειριστής (σε τρίγωνο) (30m x 80m)
9. Διπλάσιο μήκος διαδρομής (15m x 160m)
10. Μεγαλύτερη ταχύτητα ($4^{η}$ αργό) (15m x160m)
11. Διπλάσιο πλάτος χωραφιού (30m x 80m)
12. Τραπέζιο σχήμα χωραφιού (1 &5) (45m x 15m)
13. Τραπέζιο σχήμα χωραφιού (μεγαλύτερες παράλληλες πλευρές) (11&5) (60m x 30m)

Σχήμα 1. Σχεδιασμός και διαίρεση αγροτεμαχίου (60m x 240m) σε επιμέρους πειραματικά τεμάχια.

2.2 Περιποίηση χόρτου

Μετά την κοπή ακολούθησε περιποίηση του χόρτου. Συγκεκριμένα, η εργασία της ανάδευσης, με σκοπό την ομοιόμορφη ξήρανσή του και η συνένωση γραμμικών σωρών όπου το χόρτο δεν ήταν ικανοποιητικής ποσότητας ώστε να είναι δυνατή η μετέπειτα παραλαβή του από τη μηχανή δεματοποίησης.

Για την ανάδευση η συνολική έκταση με το κομμένο πλέον χόρτο χωρίστηκε σε τέσσερα ίσα πειραματικά τεμάχια 30m x 240m το κάθε ένα και πραγματοποιήθηκαν δύο επεμβάσεις με δύο επαναλήψεις. Μελετήθηκε η ταχύτητα μετακίνησης πέραν της ενδεδειγμένης, αλλάζοντας τη σχέση μετάδοσης στο κιβώτιο ταχυτήτων του ελκυστήρα:

1. $2^{α}$ γρήγορο
2. $3^{η}$ γρήγορο

Η ενδεδειγμένη σχέση μετάδοσης ήταν η $3^{η}$ αργό (ταχύτητα 8 Km/h).

2.3. Δεματοποίηση

Ακολούθησε η δεματοποίηση του χόρτου σε δέματα ορθογωνικής διατομής. Μετρήθηκε ο βαθμός απόδοσής της μηχανής σε δύο επαναλήψεις, σε δύο πειραματικά τεμάχια 60m x 240m το καθένα.

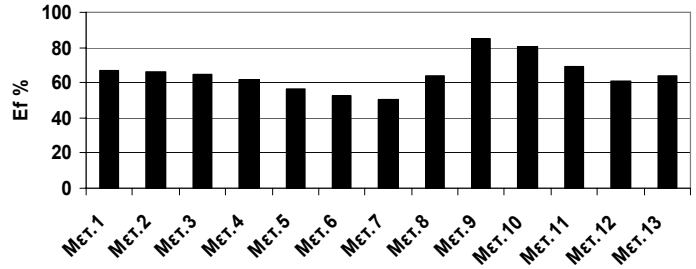
2.4. Συλλογή και Φόρτωση

Τελευταία έγινε η συλλογή και φόρτωση των δεμάτων σε πλατφόρμα από έκταση 60m x 240m. Δεν υπήρξε επανάληψη.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

3.1. Κοπή μηδικής

Μετά από επεξεργασία και ανάλυση των δεδομένων του πειράματος για την κοπή της μηδικής με δύο επαναλήψεις, οι μεταχειρίσεις επηρέασαν το βαθμό απόδοσης του μηχανήματος όπως εμφανίζεται στο Σχήμα 2 και στον Πίνακα 1 αντίστοιχα:



Σχήμα 2. Μέσες τιμές βαθμών απόδοσης των μεταχειρίσεων κοπής, με Ε.Σ.Δ. για α=0,05 είναι 8,8.

Πίνακας 1. Μέσες τιμές βαθμών απόδοσης των μεταχειρίσεων κοπής.

Μετ.	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**
E_f%	66,9	66,4	65	61,5	56,5	53	50,3	63,8	85,3	80,3	69	60.8	63,8

Παρατηρούμε ότι από τη μεταχείριση 1, που αποτελεί το μάρτυρα, έως και τη μεταχείριση 7, η μεταβολή των παραγόντων επηρέασε αρνητικά το βαθμό απόδοσης με μία συνεχή φθίνουσα πορεία. Αρχίζοντας από τη μείωση του ενεργού πλάτους κοπής (Μετ. 2), ακολούθησε η αύξηση του χώρου για ελιγμούς στα κεφαλάρια (Μετ. 3). Η μείωση του β.α. στη μεταχείριση 3 συνέβη διότι η αύξηση του χώρου αυτού (μία κοπή επιπλέον για κάθε κεφαλάρι), έγινε εις βάρος των κύριων διαδρομών οι οποίες μειώθηκαν κατά 4% με αποτέλεσμα ο βαθμός απόδοσης (Μετ.3) να μειωθεί κατά 2% σε σχέση με το μάρτυρα.

Στην Μετ.4 μειώθηκε επίσης ο β.α. διότι η ρύθμιση -η οποία έγινε εν στάσει- συνυπολογίζεται στο νεκρό χρόνο.

Στις Μετ.5 και Μετ.6 η αλλαγή του σχήματος του τεμαχίου σε τρίγωνο, μείωσε ακόμη περισσότερο το β.α., εξαιτίας της δυσκολίας πραγματοποίησης της εργασίας στο σχήμα αυτό. Με δυσχερέστερη την Μετ.6 λόγω του ότι αυξήθηκε ο νεκρός χρόνος επιπλέον από τη στάση του χειριστή. Η απειρία του χειριστή σε παρόμοια κατάσταση (Μετ.7) σε συνδυασμό με το τριγωνικό τεμάχιο, παρουσίασε το χαμηλότερο β.α.

Μεταξύ των μεταχειρίσεων 7 και 8 παρατηρούμε μία σημαντική αύξηση στο β.α. Αυτό οφείλεται στη θετική επίδραση της εμπειρίας του χειριστή που έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση του χρόνου για τους ελιγμούς του γεωργικού ελκυστήρα.

Στη μεταχείριση 9, διατηρώντας σταθερό το πλάτος και διπλασιάζοντας το μήκος του χωραφιού, έχουμε τον υψηλότερο β.α. Αυτό συμβαίνει γιατί αυξήθηκαν οι ενεργοί χρόνοι ενώ παρέμειναν σταθεροί οι νεκροί, σε σχέση με το μάρτυρα [12].

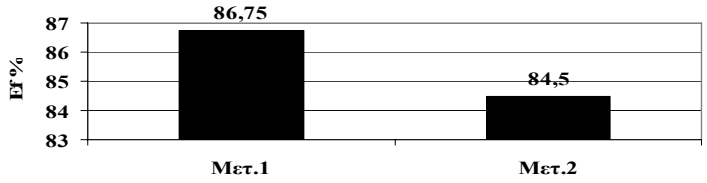
Στη Μετ.10 αυξήθηκε η ταχύτητα μετακίνησης σε σχέση με την Μετ.9 και προκάλεσε μείωση του β.α. Αυτό προκύπτει γιατί με την αύξηση της ταχύτητας μειώνεται ο χρόνος των κύριων διαδρομών του μηχανήματος, με αποτέλεσμα τη μείωση του ενεργού χρόνου.

Στη Μετ.11 έχουμε ίδιο εμβαδόν επιφάνειας με την Μετ.9, με τη διαφορά ότι διπλασιάστηκε το πλάτος του τεμαχίου και όχι το μήκος. Η μείωση του β.α. προήλθε από την αύξηση των νεκρών διαδρομών στα κεφαλάρια. Επίσης στη Μετ.11 παρατηρήθηκε μια μικρή αύξηση του β.α. σε σχέση με το μάρτυρα, διότι το μεγαλύτερο πλάτος του τεμαχίου δημιούργησε στον χειριστή επιπλέον άνεση για τους ελιγμούς στα κεφαλάρια.

Στη Μετ.12 άλλαξε το σχήμα του τεμαχίου από ορθογώνιο παραλληλόγραμμο σε τραπέζιο. Η αλλαγή αυτή προκάλεσε μείωση του β.α. σε σχέση με την Μετ.11. Από τη μεταχείριση 12 στην 13, όπου το σχήμα και των δύο τεμαχίων είναι τραπέζιο, παρατηρήθηκε αύξηση στο β.α. Αυτό συμβαίνει διότι στη Μετ.13 το τρίγωνο τμήμα του τεμαχίου το οποίο επιβαρύνει το συνολικό β.α., αποτελεί το 33,3% της συνολικής έκτασης, ενώ στη Μετ.12 το 50% αυτής.

3.2 Περιποίηση χόρτου

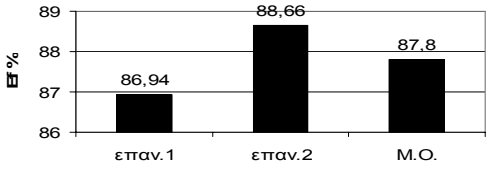
Στην ανάδευση του χόρτου, σύμφωνα με το γράφημα (Σχήμα 3), η αύξηση της ταχύτητας μετακίνησης στη Μετ.2 σε σχέση με την Μετ.1 , προκάλεσε μείωση στο β.α., λόγω μείωσης του ενεργού χρόνου. Στην πράξη δε, παρατηρήθηκε ότι στην πρώτη περίπτωση με χαμηλή ταχύτητα δεν είχαμε καλή ποιότητα ανάδευσης (άφηνε χόρτο), ενώ στη δεύτερη με τη μεγαλύτερη ταχύτητα, κολλούσε χόρτο στα δόντια του αναδευτήρα.



Σχήμα 3. Μέσες τιμές βαθμών απόδοσης των μεταχειρίσεων περιποίησης χόρτου.

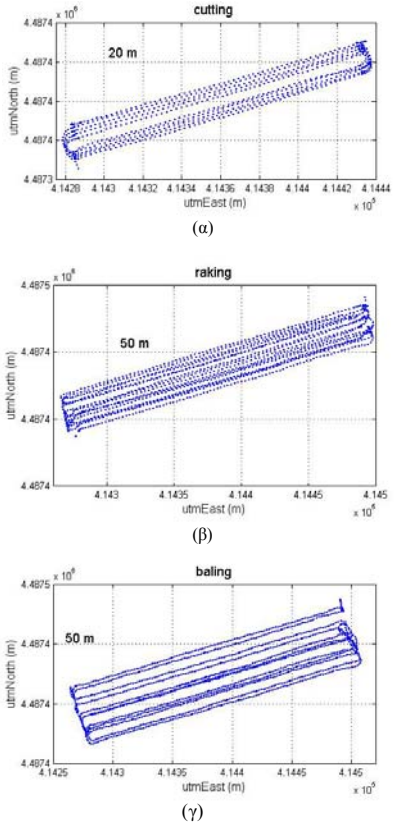
3.3. Δεματοποίηση

Στη δεματοποίηση του χόρτου -σε μικρά δέματα ορθογωνικής διατομής- παρατηρείται ότι ο μέσος όρος των δύο επαναλήψεων, έδωσε βαθμό απόδοσης του μηχανήματος 87,8% (Σχήμα 4).



Σχήμα 4. Βαθμός απόδοσης των επαναλήψεων της δεματοποίησης.

Ενδεικτικά παρατίθενται καταγραφές, μέσω του συστήματος GPS, της πορείας του Γ.Ε., κατά τη διάρκεια επεμβάσεων: κοπή (μεταχείριση 10) (σχήμα 5α), ανάδευση (μεταχείριση 2) (σχήμα 5β) και δεματοποίηση (σχήμα 5γ) (1η επανάληψη).



Σχήμα 5. Καταγεγραμμένη πορεία του Γ.Ε. μέσω GPS κατά την εργασία μεμονομένων πειραματικών τεμαχίων, στην: α) κοπή, β) περιποίηση-ανάδευση και γ) δεματοποίηση.

3.4. Συλλογή και Φόρτωση

Η φόρτωση έγινε σε πλατφόρμα η οποία συνδέθηκε στο γεωργικό ελκυστήρα, ενώ πλευρικά αυτού προσαρμόστηκε μηχάνημα παραλαβής των δεμάτων. Τα δέματα παραλαμβάνονταν από το μηχάνημα και ανυψώνονταν προς την πλατφόρμα όπου υπήρχαν δύο εργάτες για την παραλαβή και τακτοποίηση των δεμάτων σε αυτή. Στη

φόρτωση ο βαθμός απόδοσης της εργασίας -σε επιφάνεια διαστάσεων 60m x 240m- υπολογίστηκε στο 86,9% ενώ συμπεριλαμβάνοντας στους υπολογισμούς και το χρόνο για την επιστροφή του γεωργικού ελκυστήρα στο υπόστεγο ο β.α. μειώθηκε στο 82,2%.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- Κατά την εργασία της κοπής της μηδικής, ο βαθμός απόδοσης επηρεάζεται θετικά όταν αυξάνει το μήκος της κυρίας διαδρομής σε ένα ορθογώνιο κανονικό σχήμα χωραφιού, ενώ μειώνεται με αλλαγή του σχήματος ιδιαίτερα σε τρίγωνο.
- Η εμπειρία του χειριστή είναι πολύ σημαντική στην τελική διαμόρφωση του βαθμού απόδοσης.
- Στην ανάδευση του χόρτου η μείωση της ταχύτητας πέραν της ενδεδειγμένης, αυξάνει το βαθμό απόδοσης αλλά μειώνει την ποιότητα εργασίας. Ενώ η αύξηση της ταχύτητας μειώνει το βαθμό απόδοσης. Στις δύο αυτές περιπτώσεις ο βαθμός απόδοσης μεταβλήθηκε κατά 2,25%.
- Στη δεματοποίηση και φόρτωση των δεμάτων υπολογίστηκε βαθμός απόδοσης 87,8% και 86.9% αντίστοιχα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Renoll, E. S. 1972.Concept for predicting capacity of row; crop machines. Transactions of ASAE 15(5): 1025-1030.
2. Renoll, E. S. 1981. Predicting machine field capacity for specific field and operating conditions. *Transactions of the ASAE* 24(1): 45–47.
3. Grisso, R.D., Jasa, P.J. and Rolofson, S. 2002. Analysis of traffic patterns and yield monitor data for field efficiency determination. *Applied Eng. Agric*. 18(2): 171-178.
4. Benson, E.R., Hansen, A.C., Reid, J.F., Warman, B.L. and Brand, M.A. 2002. Development of an in-field grain handling simulation in ARENA. ASAE Paper 02-3104. St. Joseph, MI. 18pp.
5. Hansen, A.C., Benson, E.R., Reid, J.F. and Hornbaker, R.H. 2002. Evaluation and use of an in-field grain handling simulation. ASAE Paper 02-3105. St. Joseph, MI. 9 pp.
6. Bochtis, D., Vougioukas, S. and Tsatsarelis, C. 2004. "A Vehicle Routing Problem Formulation of Agricultural Field Operations Planning for Self-Propelled Machines". XVI CIGR Word Congress, Bonn Germany. Abstract in Book of Abstracts, p. 301-302, full paper on CD 6 pp.
7. Hansen, A.C., Hornbaker, R.H. and Zhang, Q. 2003. Monitoring and analysis of in-field grain handling operations. In*: Proceedings of the International Conference on Crop Harvesting*, Louisville, Kentuky USA. ASEA Publication No 701P1103e.
8. Reid, J.F., Zhang, Q., Noguchi, N. and Dickson, M. 2000. Agricultural automatic guidance Research in North America. *Computers and Electronics in Agriculture*, 25, 155-167.
9. Τσατσαρέλης, Κ.Α. 2003. Συγκομιδή γεωργικών προϊόντων. Εκδόσεις: Γιαχούδη. Θεσσαλονίκη.
10. ASAE. 2004. ASAE Standard EP 496. Agricultural machinery management. St. Joseph, Mich.: ASAE.
11. Hunt, D. 1995. Farm Power and Machinery Management, 9th Ed. Ames, Iowa: Iowa State University Press.
12. Τσατσαρέλης, Κ.Α. 1995. Διαχείριση γεωργικών μηχανημάτων. Θεσσαλονίκη.

(169)

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΩΝ ΚΥΡΙΑΣ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ

Α.Γ. Ντιρογιάννης[1], Ι.Γ. Αμπατζίδης, Δ.Δ. Μπόχτης, Ι.Α. Σπανομήτρος και Κ.Α. Τσατσαρέλης

[1]Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Γεωπονική Σχολή, Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας, 54124 Θεσσαλονίκη, Email: thdirog@agro.auth.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στόχος της παρούσας εργασίας είναι ο υπολογισμός του βαθμού απόδοσης, σε διάφορα συστήματα κύριας κατεργασίας του εδάφους, με τη μεταβολή καλλιεργητικών και μηχανικών παραγόντων. Μελετήθηκαν δύο συστήματα κατεργασίας: το παλινδρομικό και το περιφερειακό σύστημα με τελική διαγώνια άροση. Στο πρώτο σύστημα η κατεργασία πραγματοποιήθηκε με απλό τετράυνο άροτρο, με τρίυνο αναστρεφόμενο άροτρο και με δισκάροτρο με τρεις δίσκους. Το δεύτερο σύστημα κατεργασίας πραγματοποιήθηκε με τη χρήση απλού τετράυνου αρότρου. Σε όλες τις διεργασίες μετρήθηκαν οι παθητικοί και ενεργοί χρόνοι, και υπολογίστηκε ο βαθμός απόδοσης των γεωργικών μηχανημάτων.

EVALUATION OF MACHINERY EFFICIENCY FOR TILLAGE SYSTEMS

A.G. Ntirogiannis[1], Y.G. Ampatzidis, D.D. Bochtis, I.A. Spanomitros and C.A. Tsatsarelis

[1]Aristotle University of Thessaloniki, Department of Agricultural Engineering, 54124 Thessaloniki, Greece. E-mail: thdirog@agro.auth.gr

ABSTRACT

The objective of this paper is the evaluation of the influence of cultivation and mechanical factors on field efficiency. Particularly, two field work patterns were studied, the alternation and the peripheral with corner diagonal. At the first pattern the operation was performed using a non-reversible four-bottom moldboard plow, a reversible three bottom moldboard plow and a three bottom disc plow. The second pattern was performed using a non-reversible four-bottom plow. For all operations the time that the machine was effectively operated and the total time the machine was committed to operation was recorded, in order to determine the field efficiency.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η κύρια κατεργασία του εδάφους αποτελεί μία από τις σπουδαιότερες καλλιεργητικές εργασίες αφού προετοιμάζει το έδαφος για τη σπορά. Επομένως, είναι απαραίτητη η σωστή διαχείριση του μεγάλου αριθμού γεωργικών μηχανημάτων που χρησιμοποιείται για την εκτέλεση της. Σωστή διαχείριση σημαίνει υψηλός βαθμός απόδοσης.

Ο βαθμός απόδοσης συγκρίνει το χρόνο που το μηχάνημα βρίσκεται στον αγρό για να εκτελέσει την εργασία σε σχέση με το συνολικό χρόνο που βρίσκεται στο χωράφι. Οι κυριότεροι παράγοντες που επηρεάζουν το βαθμό απόδοσης είναι οι εξής [1, 2]: α) η θεωρητική παραγωγικότητα, β) η ευελιξία των μηχανημάτων [3], γ) τα συστήματα εκτέλεσης των εργασιών [4], δ) το σχήμα του αγρού, ε) το μέγεθος του αγρού, στ) οι εδαφοκλιματικές συνθήκες, ζ) η βλάστηση, η) η συναρμογή των μηχανημάτων, θ) οι ρυθμίσεις και οι εμπλοκές των μηχανημάτων, ι) ο χειριστής κ.ά.

Στόχος της παρούσας εργασίας είναι να υπολογιστούν οι παθητικοί και οι ενεργοί χρόνοι καθώς και ο βαθμός απόδοσης των γεωργικών μηχανημάτων, μεταβάλλοντας καλλιεργητικούς και μηχανικούς παράγοντες και χρησιμοποιώντας διαφορετικά συστήματα άροσης, κατά την εκτέλεση της κύριας κατεργασίας του εδάφους. Τα μηχανήματα που εξετάστηκαν ήταν το απλό τετράυνο άροτρο, το αναστρεφόμενο άροτρο και το δισκάροτρο. Τα συστήματα κατεργασίας που μελετήθηκαν είναι το παλινδρομικό σε "σποριές" για το απλής αναστροφής και άμεσης στροφής στο αναστρεφόμενο και το περιφερειακό σύστημα με τελική διαγώνια άροση. Κατά τη διάρκεια κάθε κατεργασίας μεταβλήθηκαν παράγοντες που επηρεάζουν το βαθμό απόδοσης όπως: ο διαθέσιμος χώρος για τους ελιγμούς του ελκυστήρα στα κεφαλάρια, τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του αγροτεμαχίου, οι εδαφοκλιματικές συνθήκες, η ταχύτητα μετακίνησης του ελκυστήρα, το μέγεθος του αγρού και οι πιθανές εμπλοκές του ελκυστήρα.

Παρατηρήθηκε ότι κάποιοι από τους παραπάνω παράγοντες, όπως ο διαθέσιμος χώρος για τους ελιγμούς του ελκυστήρα στα κεφαλάρια, η ταχύτητα μετακίνησης του, το σύστημα κατεργασίας του εδάφους καθώς και οι εδαφοκλιματικές συνθήκες επηρεάζουν περισσότερο τις νεκρές διαδρομές (νεκροί χρόνοι) και άρα το βαθμό απόδοσης. Επομένως, απαιτούν περισσότερη διερεύνηση με στόχο τη βελτίωση του βαθμού απόδοσης των μηχανημάτων.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Τα συστήματα εκτέλεσης των εργασιών στο χωράφι ταξινομούνται ανάλογα με τον τρόπο που θα κινηθούν τα μηχανήματα και θα εκτελέσουν τους ελιγμούς στις στροφές [1]: α) Στα κυκλικά, όπου το μηχάνημα ξεκινά από την περιφέρεια του αγρού ή από το κέντρο και κινείται συνεχώς παράλληλα προς κάθε πλευρά του, κάνοντας ελιγμό γωνίας όταν αλλάζει πλευρά του αγρού και β) Στα παλινδρομικά, όπου το μηχάνημα κινείται παράλληλα προς μια πλευρά του αγρού, συνήθως τη μεγαλύτερη, κάνει αναστροφή στο άκρο και συνεχίζει προς την αντίθετη πλευρά. Βέβαια υπάρχουν και πολλές παραλλαγές αυτών των συστημάτων.

Για τη διεξαγωγή του συγκεκριμένου πειράματος επιλέχθηκαν τρία διαφορετικά είδη αρότρου: α) ένα απλό τετράυνο άροτρο με πλάτος κατεργασίας 1,30m, β) ένα αναστρεφόμενο άροτρο με τρία υνία και πλάτος κατεργασίας 1,10m και γ) ένα δισκάροτρο με τρεις δίσκους και πλάτος κατεργασίας 1m. Ο ελκυστήρας που χρησιμοποιήθηκε ήταν τύπου STAYER με εξακύλινδρο πετρελαιοκινητήρα, μέγιστης ισχύς 81 kW ή 110 PS στις 2300 στροφές ανά λεπτό.

Τα συστήματα κατεργασίας που μελετήθηκαν είναι: α) το παλινδρομικό και β) το περιφερειακό σύστημα με τελική διαγώνια άροση. Το παλινδρομικό σύστημα άροσης εξετάστηκε με τη χρήση και των παραπάνω τριών ειδών αρότρου (το απλό υνάροτρο, το αναστρεφόμενο υνάροτρο και το δισκάροτρο), ενώ αντίθετα το δεύτερο σύστημα μελετήθηκε μόνο με τη χρησιμοποίηση του απλού τετράυνου αρότρου κυρίως γιατί το σύστημα αυτό δεν εφαρμόζεται στην Ελλάδα. Κάθε κατεργασία επαναλήφθηκε δύο φορές για τη λήψη ακριβέστερων αποτελεσμάτων. Κατά τη διάρκεια κάθε κατεργασίας μεταβλήθηκαν παράγοντες που επηρεάζουν το βαθμό απόδοσης όπως: η ταχύτητα μετακίνησης του ελκυστήρα, το μέγεθος του αγροτεμαχίου και το ποσοστό των φυτικών υπολειμμάτων (πιθανές εμπλοκές του μηχανήματος). Επίσης μελετήθηκαν και οι ελιγμοί του ελκυστήρα στα κεφαλάρια ανάλογα με το διαθέσιμο χώρο και εξετάστηκε η επίδραση τους στην αύξηση των νεκρών χρόνων.

Καταγράφηκαν οι νεκροί και ενεργοί χρόνοι με την βοήθεια ηλεκτρονικού χρονομέτρου. Επίσης, πορεία του γεωργικού ελκυστήρα καθώς και οι χρόνοι καταγράφηκαν και μελετήθηκαν με τη χρήση ενός διαφορικού GPS λόγω της υψηλής ακρίβειας των δεδομένων και της δυνατότητας επεξεργασίας τους, με ανάπτυξη ειδικών λογισμικών [5, 6, 7]. Τα δεδομένα που συλλέκτηκαν από το GPS αποθηκεύτηκαν σε φορητό ηλεκτρονικό υπολογιστή, ο οποίος ενσωματώθηκε στον ελκυστήρα, δια μέσου σειριακής θήρας.

Οι βαθμοί απόδοσης των παραπάνω συστημάτων υπολογίστηκαν διαιρώντας τους ενεργούς χρόνους κατά τη διάρκεια τέλεσης της κάθε κατεργασίας προς τους ενεργούς και τους παθητικούς χρόνους στην ίδια κατεργασία.

3.ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ-ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

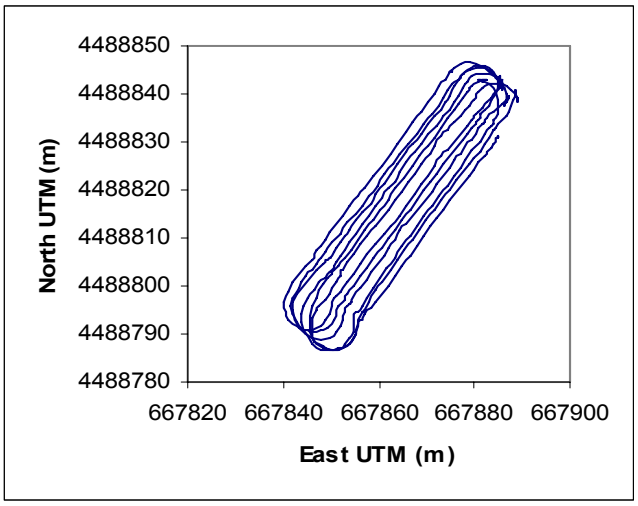
Τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν σε έκταση του αγροκτήματος της Γεωπονικής Σχολής του Α.Π.Θ. Τα αγροτεμάχια χωρίστηκαν σε τμήματα με όμοιες διαστάσεις, ώστε η σύγκριση να είναι εφικτή.

Στη μια πλευρά του χωραφιού υπήρχε δρόμος και στη συνέχεια καλλιέργεια σιταριού με αποτέλεσμα να υπάρχει συγκεκριμένος χώρος για την κίνηση του ελκυστήρα στα κεφαλάρια. Στην απέναντι πλευρά του χωραφιού δεν υπήρχε κανένα εμπόδιο για την κίνηση του ελκυστήρα. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα στη μία πλευρά του χωραφιού, όπου ο διαθέσιμος χώρος για περιστροφή του ελκυστήρα ήταν μικρός, οι ελιγμοί του ελκυστήρα να έχουν διαφορετικό σχήμα από τους αντίστοιχους στην πλευρά με το μεγάλο διαθέσιμο χώρο. Το GPS κατέγραψε ακριβώς τις διαστάσεις του κάθε αγροτεμαχίου, σε κάθε πείραμα, αλλά και τον χρόνο της κάθε διαδρομής.

Εφαρμόστηκε και μελετήθηκε το σύστημα άροσης κατά ορθογώνια με τη χρήση απλού τετράυνου αρότρου, με αναστρεφόμενο τρίυνο άροτρο και με ένα δισκάροτρο με τρεις δίσκους. Σε κάθε κατεργασία μεταβλήθηκε η ταχύτητα του ελκυστήρα, η οποία επηρεάζει την απόδοση του μηχανήματος και επιπλέον υπολογίστηκε ο βαθμός απόδοσης σε κατεργασία αγροτεμαχίου με πολλά φυτικά υπολείμματα, η ύπαρξη των οποίων αυξάνει τις πιθανές εμπλοκές του μηχανήματος. Επίσης, στην κατεργασία με το δισκάροτρο υπολογίστηκε ο βαθμός απόδοσης σε αγροτεμάχιο με διαφοροποίηση και των εδαφοκλιματικών συνθηκών. Τέλος μελετήθηκε και το περιφερειακό σύστημα με τελική διαγώνια άροση με τη χρήση του απλού υναρότρου, όπου μεταβλήθηκε η ταχύτητα κατεργασίας αλλά και το μέγεθος του αγροτεμαχίου. Σε κάθε κατεργασία πραγματοποιήθηκαν δυο επαναλήψεις και συγκρίθηκαν οι βαθμοί απόδοσης. Παρακάτω περιγράφονται και αναλύονται τα παραπάνω πειράματα.

3.1 Παλινδρομικό σύστημα άροσης κατά ορθογώνια με χρήση απλού τετράυνου αρότρου

Η κατεργασία με το τετράυνο άροτρο εφαρμόστηκε σε αγροτεμάχια με μήκος 50m και πλάτος 17m. Το πειραματικό σχέδιο περιελάμβανε δύο επαναλήψεις. Σε κάθε επανάληψη εκτελέστηκαν δώδεκα (12) διαδρομές. Ο ελκυστήρας ξεκίνησε από την πρώτη διαδρομή, συνέχισε στην έβδομη, μετά στην δεύτερη και την όγδοη κ.ο.κ. (*Σχήμα 1*). Η κατεργασία του χωραφιού έγινε με τον ελκυστήρα να κινείται με τη δεύτερη αργή ταχύτητα (3 Km/h), η οποία όμως δεν ήταν σταθερή. Ο βαθμός απόδοσης στην πρώτη επανάληψη ήταν 66% και στη δεύτερη 64%. Ακολούθησε κατεργασία του χωραφιού με τον ελκυστήρα να κινείται με μεγαλύτερη ταχύτητα δηλαδή με τρίτη αργή (3,8 Km/h), όπου ο βαθμός απόδοσης ήταν στην πρώτη επανάληψη 60% και στη δεύτερη 57%. Τέλος πραγματοποιήθηκε κατεργασία σε αγροτεμάχιο με πολλά φυτικά υπολείμματα, στο οποίο παρατηρήθηκαν σταδιακές εμπλοκές του ελκυστήρα λόγω κακών συνθηκών λειτουργίας του μηχανήματος (μπούκωμα του αρότρου εξαιτίας της ύπαρξης πολλών ζιζανίων στο έδαφος αλλά και των υπολειμμάτων από προηγούμενη καλλιέργεια). Ο βαθμός απόδοσης υπολογίστηκε στο 61% όταν ο ελκυστήρας κινήθηκε με την μικρή ταχύτητα και 54% με τη δεύτερη ταχύτητα (μεγαλύτερη). Ο ελκυστήρας πραγματοποίησε δυο τύπους ελιγμών στα κεφαλάρια. Στην πλευρά του χωραφιού που δεν υπήρχε διαθέσιμος χώρος, κινήθηκε με ελιγμό ανάστροφης επιστροφής, ενώ στην άλλη πλευρά πραγματοποίησε ελιγμό επιστροφής τύπου βρόχου. Ο μέσος χρόνος και για τους δύο ελιγμούς ήταν ίδιος και κυμάνθηκε στα 18-19 δευτερόλεπτα.



Σχήμα 1: Πορεία του ελκυστήρα κατά την διάρκεια της κατεργασίας με το απλό υνάροτρο με το σύστημα άροσης κατά ορθογώνια.

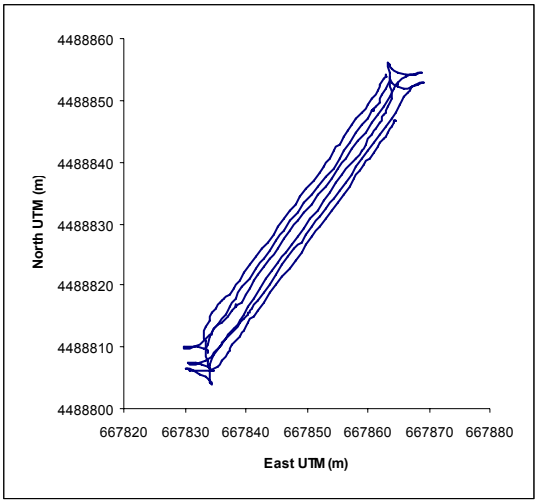
3.2 Όργωμα με αναστρεφόμενο άροτρο

Η κατεργασία με το αναστρεφόμενο άροτρο εφαρμόστηκε σε αγροτεμάχια με μήκος 50m και πλάτος 7m. Με το σύστημα αυτό πραγματοποιήθηκαν έξι (6) διαδρομές σε κάθε κατεργασία. Η διαδρομή που ακολούθησε ο ελκυστήρας ήταν διαφορετική σε σχέση με αυτή με το απλό άροτρο, αφού μετά την πρώτη διαδρομή ακολούθησε η δεύτερη μετά η τρίτη κ.ο.κ, μέχρι την έκτη (*Σχήμα 2*). Στο πρώτο πειραματικό σχέδιο ο ελκυστήρας εργάστηκε με τη δεύτερη αργή ταχύτητα. Το πείραμα αυτό επαναλήφθηκε δύο φορές. Ο βαθμός απόδοσης την πρώτη φορά ήταν 55% και τη δεύτερη 52% Στην συνέχεια πραγματοποιήθηκαν άλλες δύο επαναλήψεις, σε αγροτεμάχιο με τις ίδιες

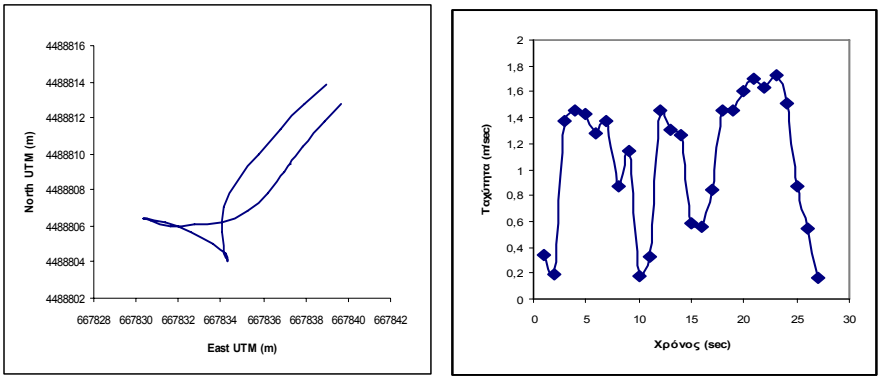
διαστάσεις με το προηγούμενο πειραματικό σχέδιο, με τον ελκυστήρα να εργάζεται με μεγαλύτερη ταχύτητα, τρίτη αργή, και τον βαθμό απόδοσης να κυμαίνεται στο 55% στην πρώτη επανάληψη και 56% στη δεύτερη. Τέλος πραγματοποιήθηκε κατεργασία σε αγροτεμάχιο με πολλά φυτικά υπολείμματα, πάλι με δύο επαναλήψεις, στο οποίο παρατηρήθηκε μπούκωμα του αρότρου εξαιτίας της ύπαρξης πολλών υπολειμμάτων από προηγούμενη καλλιέργεια. Ο βαθμός απόδοσης μειώθηκε στο 51,5% όταν ο ελκυστήρας κινήθηκε με την μικρή ταχύτητα και 50% με τη δεύτερη ταχύτητα (μεγαλύτερη). Επίσης πραγματοποιήθηκε κατεργασία σε αγροτεμάχιο με τις ίδιες διαστάσεις με τα προηγούμενα σε μία επανάληψη με την αργή ταχύτητα όπου παρατηρήθηκαν αυξημένοι παθητικοί χρόνοι εξαιτίας προβλήματος που παρουσιάστηκε στην αναστροφή του αρότρου που οφείλονταν στο υδραυλικό σύστημα. Ο βαθμός απόδοσης ήταν ακόμη μικρότερος (48%).

Ο ελιγμός στα κεφαλάρια που πραγματοποίησε ο ελκυστήρα ήταν ελιγμός τύπου ανάστροφης επιστροφής (*Σχήμα 3, 4*). Στο *Σχήμα 3α* παρουσιάζεται ο ελιγμός του ελκυστήρα κατά την διάρκεια στροφής στα κεφαλάρια, με το αναστρεφόμενο άροτρο, στην πλευρά του χωραφιού που υπήρχε διαθέσιμος χώρος και στο *Σχήμα 3β* η διακύμανσης της ταχύτητα του ελκυστήρα κατά την διάρκεια του ελιγμού. Αντίστοιχα στο *Σχήμα 4α,* παρατηρείται πορεία του ελκυστήρα κατά την διάρκεια του ελιγμού στην πλευρά του χωραφιού που δεν υπήρχε διαθέσιμος χώρος και στο *Σχήμα 4β* η διακύμανσης της ταχύτητά του κατά την διάρκεια του ελιγμού.

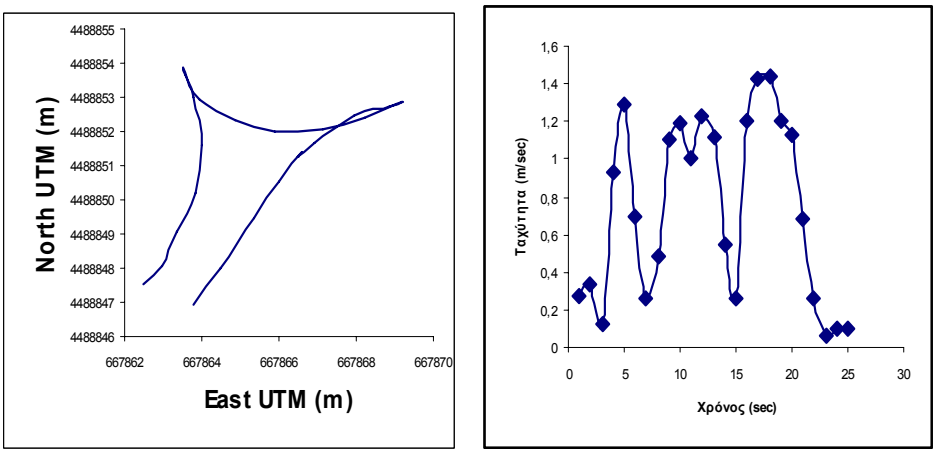
Ο μέσος χρόνος που έκανε ο ελκυστήρας κατά την διάρκεια των στροφών ήταν κατά 50% μεγαλύτερος από αυτόν με το απλό άροτρο και κυμάνθηκε στα 27-28 δευτερόλεπτα. Στην κατεργασία, στην οποία παρουσιάστηκε πρόβλημα με το σύστημα αναστροφής του αρότρου, ο μέσος χρόνος των ελιγμών στα κεφαλάρια ήταν 58-60 δευτερόλεπτα.



Σχήμα 2: Πορεία του ελκυστήρα κατά την κατεργασία με το αναστρεφόμενο άροτρο.



Σχήμα 3: α)Πορεία του ελκυστήρα κατά την διάρκεια του ελιγμού με το αναστρεφόμενο άροτρο στην πλευρά του χωραφιού που υπήρχε διαθέσιμος χώρος και β) διακύμανσης της ταχύτητα του ελκυστήρα κατά την διάρκεια του ελιγμού.



Σχήμα 4: α) Πορεία του ελκυστήρα κατά την διάρκεια του ελιγμού με το αναστρεφόμενο άροτρο στην πλευρά του χωραφιού που δεν υπήρχε διαθέσιμος χώρος και β) διακύμανσης της ταχύτητα του ελκυστήρα κατά την διάρκεια του ελιγμού.

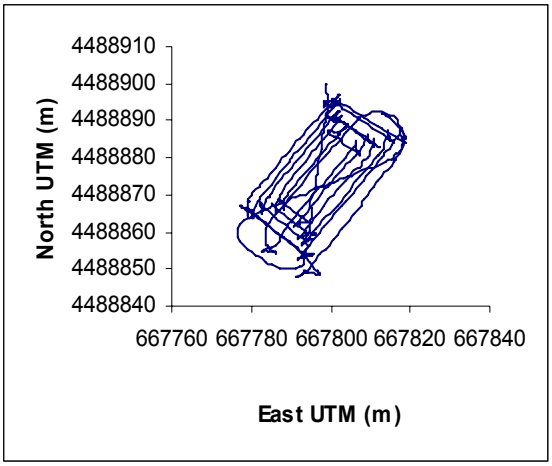
3.3. Σύστημα κατεργασία του εδάφους με δισκάροτρο.

Στη κατεργασία αυτή το μήκος του χωραφιού καθορίστηκε στα 50m και το πλάτος του στα 7m. Η διαδικασία που ακολουθήθηκε ήταν ίδια με την κατεργασία με το αναστρεφόμενο άροτρο. Πραγματοποιήθηκαν έξι (6) διαδρομές σε κάθε επανάληψη και δύο επαναλήψεις. Ο ελκυστήρας κινήθηκε στην πρώτη διαδρομή ακολούθησε η τέταρτη, μετά στη δεύτερη και την πέμπτη κ.ο.κ. Ο βαθμός απόδοσης, όταν ο ελκυστήρας κινήθηκε με την δεύτερη αργή ταχύτητα κυμάνθηκε στην πρώτη επανάληψη στο 60% και 62% στη δεύτερη. Ακολούθησε κατεργασία του εδάφους με την τρίτη αργή ταχύτητα σε δύο επαναλήψεις. Ο βαθμός απόδοσης ήταν 59% και 60% αντίστοιχα. Ακολούθησε κατεργασία ενός αγροτεμαχίου, με δύο επαναλήψεις και για τις δύο διαφορετικές ταχύτητες κάθε φορά, με πολλά φυτικά υπολείμματα, ο βαθμός απόδοσης ήταν πάλι ο ίδιος [8, 9]. Κυμάνθηκε στο 60% και στις δύο επαναλήψεις. Αυτό οφείλεται στο ότι το δισκάροτρο δεν μπούκωνε λόγω των πολλών φυτικών υπολειμμάτων. Πραγματοποιήθηκε επίσης κατεργασία του εδάφους, σε δύο επαναλήψεις, σε αγροτεμάχιο με μεγάλη εδαφική υγρασία λόγω «νεροκρατήματος» σε κάποια σημεία. Στην πρώτη επανάληψη ο ελκυστήρας κινήθηκε με την αργή ταχύτητα

και ο βαθμός απόδοσης ήταν 66%, ενώ στη δεύτερη επανάληψη με την μεγαλύτερη ταχύτητα ήταν 65%. Στις δύο τελευταίες επαναλήψεις είχαμε μεταβολή των εδαφοκλιματικών συνθηκών λόγω της υπερβολικής υγρασίας του εδάφους σε κάποια σημεία. Το γεγονός αυτό υποχρέωσε τον ελκυστήρα να κινείται με ακόμα μικρότερη ταχύτητα αλλά μεγαλύτερη ισχύ. Η μείωση της ταχύτητας επιφέρει αύξηση το βαθμού απόδοσης. Ο μέσος χρόνος για τους ελιγμούς του ελκυστήρα κυμάνθηκε στα ίδια επίπεδα με αυτόν του απλού αρότρου.

3.4 Περιφερειακό σύστημα με τελική διαγώνια άροση

Στο σύστημα αυτό το όργωμα αρχίζει από την περιφέρεια προς το κέντρο. Το άροτρο ανασηκώνεται στη γωνία, διαγράφεται ελιγμός ανάστροφης γωνίας και τοποθετείται στην επόμενη πλευρά. Στο τέλος οργώνονται οι δύο διαγώνιες λωρίδες. Οι διαστάσεις του αγροτεμαχίου καθορίστηκαν σε 50m μήκος και 17m πλάτος και έτσι πραγματοποιήθηκαν 22 διαδρομές και δύο διαγώνιες (*Σχήμα 5*). Η ταχύτητα του ελκυστήρα ήταν η δευτέρα αργή, όμοια με αυτή στην κατεργασία με το παλινδρομικό σύστημα για να μπορούν να συγκριθούν τα αποτελέσματα. Ο βαθμός απόδοσης ήταν 52%. Τέλος ακολούθησε κατεργασία σε μεγαλύτερο αγροτεμάχιο, με την ίδια ταχύτητα μετακίνησης, διαστάσεων 100m μήκος και πλάτος 17m. Σε αυτό το αγροτεμάχιο πραγματοποιήθηκαν 20 διαδρομές και δύο διαγώνιες. Ο βαθμός απόδοσης αυξήθηκε στο 70%. Η διαφορά αυτή οφείλεται στο γεγονός ότι μειώθηκαν οι διαδρομές, επομένως και ο αριθμός των στροφών. Έτσι το ποσοστό του χρόνου για παραγωγικό έργο αυξήθηκε σημαντικά. Επίσης πραγματοποιήθηκαν άλλες δύο επαναλήψεις με την ίδια ταχύτητα ($2^{η}$ αργή) σε αγροτεμάχιο με πολλά φυτικά υπολείμματα και ο βαθμός απόδοσης υπολογίστηκε στο 48% στην πρώτη και 68% στη δεύτερη. Ο ελιγμός στα κεφαλάρια που πραγματοποίησε ο ελκυστήρας ήταν ο ελιγμός ανάστροφης γωνίας.



Σχήμα 5: Πορεία του ελκυστήρα στην κατεργασία με το απλό άροτρο με το περιφερειακό σύστημα με τις δύο διαγώνιες με την δεύτερη αργή ταχύτητα στο αγροτεμάχιο με μήκος 50m.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Με βάση τα παραπάνω πειραματικά δεδομένα παρατηρούμε κάποιες μεταβολές στο βαθμό απόδοσης, όπως και ήταν αναμενόμενο. Πιο συγκεκριμένα, διαπιστώσαμε ότι με τη χρήση του τετράυνου αρότρου ο βαθμός απόδοσης ήταν μικρότερος στο περιφερειακό σύστημα κατεργασίας σε σχέση με το παλινδρομικό. Όσο αφορά τον

παράγοντα της ταχύτητας, η αύξησή της προκάλεσε μείωση στο βαθμό απόδοσης, όταν έγινε χρήση τετράυνου αρότρου και δισκάροτρου στο παλινδρομικό σύστημα, αλλά με τη χρήση αναστρεφόμενου αρότρου σημειώθηκε μία μικρή αύξηση. Επίσης, η ευελιξία του ελκυστήρα στους ελιγμούς είναι ένας παράγοντας που τελικά επηρεάζει τον βαθμό απόδοσης, ο οποίος μειώνεται σημαντικά στην περίπτωση του αναστρεφόμενου αρότρου, λόγω του ελιγμού στα κεφαλάρια που επέλεξε ο χειριστής, ο οποίος δεν είναι ο αποδοτικότερος. Έτσι, σ' αυτή την περίπτωση σημαντικός είναι και ο ρόλος του χειριστή και μάλιστα η εμπειρία του. Επομένως, παρατηρήθηκε μείωση του βαθμού απόδοσης στην περίπτωση του αναστρεφόμενου σε σύγκριση με το απλής αναστροφής, αντίθετα με τα δεδομένα της βιβλιογραφίας, το οποίο όμως οφείλεται κυρίως στην εμπειρία του χειριστή με το συγκεκριμένο σύστημα κατεργασίας. Επιπλέον, παρατηρήθηκε ότι το μέγεθος του χωραφιού αυξομειώνει το βαθμό απόδοσης, ο οποίος στο περιφερειακό σύστημα κατεργασίας αυξήθηκε με την αύξηση του μήκους του χωραφιού. Τέλος, οι εμπλοκές του ελκυστήρα, λόγω του μεγάλου όγκου των φυτικών υπολειμμάτων, μπορούν να προκαλέσουν κάποια μεταβολή στον βαθμό απόδοσης, που όπως δείχνουν τα αποτελέσματα της όλης διαδικασίας μπορεί να έχουμε μείωση γύρω στο 1% με 4% κατά μέση τιμή βαθμού απόδοσης.

Για τη σωστή διαχείριση πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ο βαθμός απόδοσης σε σχέση με την κατεργασιμότητα του εδάφους. Δηλαδή την κατάσταση του εδάφους που επιτρέπει την εργασία των μηχανημάτων χωρίς να υποβαθμίζεται η δομή του. Έτσι, κατά την κατεργασία του εδάφους με το δισκάροτρο, στα αγροτεμάχια με μεγάλη εδαφική υγρασία, ο βαθμός απόδοσης ήταν μεγαλύτερος από τους αντίστοιχους σε αγροτεμάχια με κανονικά ποσοστά υγρασίας (έδαφος στο ρόγο). Αυτό οφείλεται στη μείωση της ταχύτητας κατεργασίας του εδάφους στα αγροτεμάχια με τη μεγάλη εδαφική υγρασία. Η δομή όμως του χωραφιού υποβαθμίστηκε και το κόστος της εργασίας αυξήθηκε επειδή απαιτήθηκε μεγαλύτερη ισχύς έλξης.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Τσατσαρέλης, Κ. 2006. Διαχείριση Γεωργικών Μηχανημάτων. Εκδ. Γιαχούδη, Θεσσαλονίκη.
2. Hunt, D. 2001. Farm Power and Machinery Management. 10th Ed. Ames, Iowa. Iowa State Press.
3. Bochtis, D., Vougioukas, S. and Tsatsarelis, C. 2006. A Vehicle Routing Problem Formulation of Agricultural Field Operations Planning for Self-Propelled Machines. XVI CIGR Word Congress , Bonn Germany. Full paper on CD 6 pp.
4. Χ. Καβαλάρης, Καραμούτης, Χ., Παπαθανασίου, Ι. Γέμτος, Θ.Α. 2003. Προοπτικές εξοικονόμησης ενέργειας κατά την εφαρμογή μειωμένης κατεργασίας του εδάφους στο σιτάρι. Πρακτικά 3ου Παν. Συνεδρίου γεωργικής μηχανικής ΕΓΜΕ, 473-480.
5. Auernhammer, H. 1996. Global Positioning Systems in Agriculture. Special issue of *Computers and Electronics in Agric.*, 11.
6. Hansen, A.C., Hornbaker, R.H. and Zhang, Q. 2003. Monitoring and analysis of in-field grain handling operations. In*: Proceedings of the International Conference on Crop Harvesting*, Louisville, Kentuky USA. ASEA Publication No 701P1103e.
7. Reid, J.F., Zhang, Q., Noguchi, N. and Dickson, M. 2000. Agricultural automatic guidance Research in North America. Computers and Electronics in Agriculture, 25, 155-167.
8. Τσατσαρέλης, Κ. 2000. Αρχές Μηχανικής Κατεργασίας του Εδάφους και Σποράς. Εκδ. Γιαχούδη, Θεσσαλονίκη.
9. Hettiarachi, D.R.P., Alam, M.M. 1997. Calculation, validation and simulation of soil reactions on concave agricultural discs. J. agric. Engng Res, 68: 63-75.

(184)

ΘΟΡΥΒΟΣ ΚΑΙ ΚΡΑΔΑΣΜΟΙ ΚΑΤΑ ΤΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΓΕΩΡΓΙΚΩΝ ΕΛΚΥΣΤΗΡΩΝ ΣΤΟ ΧΩΡΑΦΙ

Θ.Α. Γέμτος, Σπ. Φουντάς, Χρ. Παπανικολάου, Ν. Νάνμος, Β. Βλάχος

Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Οδός Φυτόκου, Ν. Ιωνία, 38446 Μαγνησία, Τηλ. 2421093228, e-mail:gemtos@agr.uth.g

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο θόρυβος και οι κραδασμοί που δέχεται ο χειριστής ενός γεωργικού μηχανήματος μπορεί να προκαλέσουν σημαντικές βλάβες στην υγεία του. Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται μια σειρά προκαταρκτικών μετρήσεων για την εκτίμηση του προβλήματος για τον Έλληνα αγότη. Για τη μέτρηση του θορύβου χρησιμοποιήθηκαν όργανα με μικρόφωνο στο επίπεδου των αυτιών του χειριστή ενώ για τους κραδασμούς επιταχυνσιόμεντο τριών διαστάσεων τοποθετημένο στη θέση του χειριστή. Μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε αγρούς της περιοχής Φαρσάλων με διάφορα μηχανήματα και σε διάφορες εργασίες συμπεριλαμβανομένων των κινήσεων σε αγροτικούς δρόμους. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι σε πολλές περιπτώσεις τόσο ο θόρυβος όσο και οι κραδασμοί υπερβαίνουν τα επιτρεπτά όρια.

NOISE AND VIBRATION LEVELS DURING FIELD WORK OF FARM MACHINERY

T.A. Gemtos, S. Foyntas, Chr. Papanikolaou, N. Nanmos, V. Vlachos

Labboratory of Farm Mechanisation, University of Thessaly, Fytoko Street, N. Ionia, 38446 Magnesia, Tel 2421093228, e-mail gemtos@agr.uth.gr

ABSTRACT

Noise and vibration levels undertaken by the farm machinery operators during field work can considerably damage their health. In the present paper a series of measurements are presented to estimate the conditions for the Greek farmer. For the measurements a microphone placed at the operators ears level was used for noise levels and a three dimensional accelerometer placed at the operator seat for the vibration levels. Measurements were taken in the area of Farsala with different machinery and under different field works including transportation in rural roads. The results showed that in many cases the recorded values were above the accepted levels of noise and vibrations for the human body.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο χειριστής γεωργικών μηχανημάτων εργάζεται σε ένα περιβάλλον που δεν είναι ιδιαίτερα υγιεινό. Κατά τη λειτουργία των ελκυστήρων στους αγρούς και κατά την κίνηση στους αγροτικούς δρόμους βρίσκεται συχνά σε περιβάλλοντα με πολύ σκόνη, θόρυβο, ακραίες θερμοκρασίες ενώ το σώμα του δέχεται κραδασμούς. Επί πλέον αντιμετωπίζει κινδύνους τραυματισμών και θανάτων από ανατροπές ή άλλα ατυχήματα. Παράλληλα ο αγρότης χειριστής γεωργικών μηχανημάτων καταπονεί τον οργανισμό του (κυρίως το μυοσκελετικό του σύστημα) από ανύψωση βαρών, κακή στάση κατά την εργασία, μεγάλους χρόνους εργασίας κλπ. Πολλές επιδημιολογικές μελέτες υποδεικνύουν σημαντικά μυοσκελετικά προβλήματα των αγροτών καθώς και προβλήματα μείωσης της ακοής [1,2]. Πολλές προσπάθειες έχουν γίνει τα τελευταία έτη για την ασφάλεια και την υγεία των αγροτών. Καμπίνες ασφαλείας και άλλοι μηχανισμοί προστατεύουν τους χειριστές ελκυστήρων από τραυματισμούς από ατυχήματα. Φίλτρα εισαγωγής του αέρα προστατεύουν από τη σκόνη και πολλές φορές από άλλες επικίνδυνες ουσίες, όπως τα φυτοφάρμακα. Οι νέες προδιαγραφές των γεωργικών ελκυστήρων σε συνδυασμό με μονωμένες καμπίνες ασφαλείας προστατεύουν από θορύβους και τις κλιματικές συνθήκες. Καθίσματα με διάφορες αναρτήσεις προστατεύουν από κραδασμούς ενώ αναρτήσεις στις καμπίνες προσπαθούν να μειώσουν τη μεταφορά κραδασμών στο χειριστή. Μια πρώτη διερεύνηση των επιπέδων θορύβου και κραδασμών στους γεωργικούς ελκυστήρες έγινε στο Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας το 2006 και αποτελούν αντικείμενο της παρούσας εργασίας.

Οι γεωργικοί ελκυστήρες εργάζονται συχνά σε βαριές εργασίες που απαιτούν λειτουργία των μηχανών τους σε πλήρεις στροφές και φορτίο. Οι εργαζόμενοι στη γεωργία χειριστές γεωργικών μηχανημάτων αντιμετωπίζουν σε πολλές περιπτώσεις υψηλούς θορύβους. Σήμερα είναι αποδεκτό ότι οι εργαζόμενοι μπορούν να υποστούν επίπεδα θορύβων για ορισμένο χρόνο πριν υποστούν ζημία στην ακοή τους. Τα επίπεδα αυτά και οι επιτρεπτοί χρόνοι έκθεσης φαίνονται στον Πίνακα 1.

Γενικά ο θόρυβος είναι η διαδοχή στο χώρο και το χρόνο κυμάτων πίεσης. Χαρακτηριστικά του θορύβου είναι η συχνότητα, η πίεση και η ενέργεια στο αυτί.

Πίνακας 1 Επιτρεπτή έκθεση στο θόρυβο [3]

Επιτρεπτή έκθεση στο θόρυβο Διάρκεια /ημέρα(Σε ώρες)	Επίπεδο θορύβου dBA
8	85
6	86,5
4	88
2	91
0.5	97

Η συχνότητα του θορύβου μετράται σε Hz και οι συχνότητες που μπορεί να πιάσει το ανθρώπινο αυτί κυμαίνονται από 2-20000 Hz. Η πίεση θορύβου δηλαδή ο βαθμός στον οποίο τμήματα του αέρα σε ένα σημείο του χώρου (τύμπανο αυτιού) πιέζονται και αποκλίνουν από την κανονική κατάστασή τους, μετράται σε N/m^2 ή σε Pa. Με τις συσκευές μέτρησης θορύβου χρησιμοποιείται η πίεση αναφοράς. Η ενέργεια θορύβου μετράται σε dB που είναι :

$$dB= 10 \log10 (P2meas / 20\mu Pa2),$$

όπου P^2meas είναι η μετρούμενη πίεση θορύβου και

20 είναι η πίεση αναφοράς σε μPa^2.

Οι κραδασμοί που δέχεται ο χειριστής ενός γεωργικού ελκυστήρα ή μηχανήματος επιδρούν σε σημεία του σώματος πχ στα χέρια ή σε όλο το σώμα. Υπάρχουν 7 κατηγορίες μετρήσεων κραδασμών σε ένα γεωργικό ελκυστήρα. . Αυτές είναι οι :

• HA : WM -κραδασμοί στο χέρι – βραχίονα ως προς ένα άξονα
• HA : LM - κραδασμοί στο χέρι – βραχίονα ως προς ένα άξονα με γραμμική καταγραφή από 8 ως 1000Hz
• HA : WT - κραδασμοί στο χέρι – βραχίονα ως προς τρείς άξονες με ISO
• HA : LT - κραδασμοί στο χέρι – βραχίονα ως προς τρείς άξονες με γραμμική καταγραφή από 8 ως 1000 Hz
• WB : WT – κραδασμοί σε όλο το σώμα ως προς τρείς άξονες με ISO 2631/1
• WB : LT - κραδασμοί σε όλο το σώμα ως προς τρείς άξονες από 1 ως 80 Hz
• WB : CW - κραδασμοί σε όλο το σώμα ως προς ένα άξονα με

Στην παρούσα εργασία μετρήθηκαν οι κραδασμοί όλου του σώματος με μέτρηση της επιτάχυνσης στην επιφάνεια επαφής σώματος καθίσματος σε τρεις διαστάσεις. Οι κραδασμοί είναι ταλαντώσεις που χαρακτηρίζονται από το εύρος και τη συχνότητά τους. Οι ταλαντώσεις στους ελκυστήρες έχουν συχνότητα 4-8 Hz στον κατακόρυφο άξονα και κάτω από 2 Hz στους οριζόντιους άξονες (κατά τη φορά και κάθετα προς τη κίνηση του γ.ε.) [4]. Η εκτίμηση της ισχύος των κραδασμών γίνεται με τη μέτρηση της επιτάχυνσης που δέχεται το σώμα κυρίως στην επιφάνεια επαφής με το κάθισμα. Το μέγεθος της επιτάχυνσης προκαλεί διάφορες αντιδράσεις του ανθρώπου όπως φαίνεται στον Πίνακα 2.

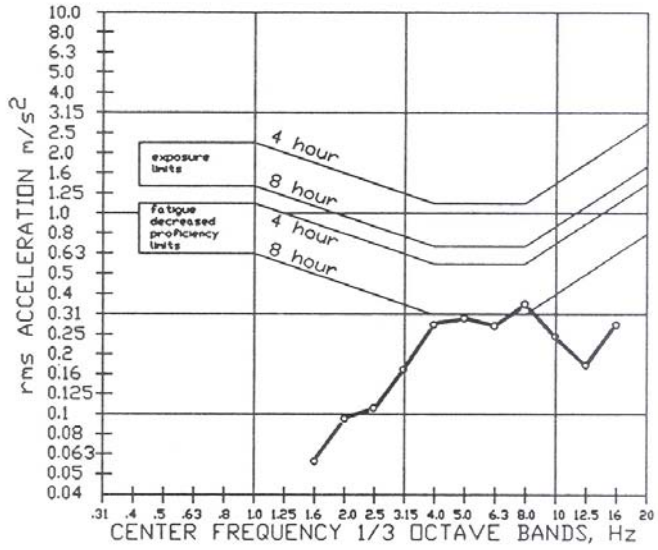
Πίνακας 2. Ποιοτικοί χαρακτηρισμοί του μεγέθους (επιτάχυνσης σε ms^{-2}) των κραδασμών [5]

Κλίμακα αντίδρασης	Τιμές επιτάχυνσης για συχνότητα 8 Hz
Καθόλου δυσάρεστα	0,25- 0,4
Λίγο δυσάρεστα	0.32 -0,63
Αρκετά δυσάρεστα	0,5 -1
Δυσάρεστα	0,8 -1,6
Πολύ δυσάρεστα	1,25- 2,5
Εξαιρετικά δυσάρεστα	2,0 -3,2

Στο διάγραμμα του Σχήματος 1 δίδεται ο χρόνος ανεκτής εργασίας για 4 και 8 ώρες κάτω από επίδραση επιταχύνσεων και για διάφορες συχνότητες κραδασμών.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Για τη μέτρηση των θορύβων χρησιμοποιήθηκε ένα όργανο της Bruel and Kjaer. Το όργανο διέθετε μια σειρά modules για μετρήσεις. Ένα μικρόφωνο και μια βασική συσκευή που κατέγραφε το επίπεδο των θορύβων. Η ίδια βασική συσκευή χρησιμοποιήθηκε για την καταγραφή των κραδασμών. Ο αισθητήρας αποτελούνταν από ένα επιταχυνσιόμετρο τριών διαστάσεων που ήταν τοποθετημένο σε μια λαστιχένια κατασκευή και τοποθετούνταν στο κάθισμα του χειριστή. Το όργανο κατέγραφε τα μετρούμενα μεγέθη που μπορούσαν στη συνέχεια να μεταφερθούν σε Η/Υ για επεξεργασία.



Σχήμα 1. Ανοχή του ανθρώπινου σώματος σε κραδασμούς. Επιτάχυνση σε σχέση με συχνότητα και ανεκτές ώρες έκθεσης [5].

Οι μετρήσεις έγιναν σε αγρούς της Θεσσαλίας σε γεωργικούς ελκυστήρες και σε μια θεριζοαλωνιστική κατά τη διάρκεια της εργασίας στους αγρούς. Για τη μέτρηση των θορύβων οι θύρες των ελκυστήρων ήταν άλλοτε κλειστές άλλοτε ανοιχτές. Για το θόρυβο καταγράφηκαν και αναλύθηκαν οι ακόλουθες μετρήσεις:

LEQ : Επίπεδο ισοδύναμου συνεχούς θορύβου (με το IEC 804)

MINL : Ελάχιστο επίπεδο RMS σε διάστημα 1 δευτερολέπτου από την αρχή της τρέχουσας μέτρησης

MAXL : Μέγιστο επίπεδο RMS από την αρχή της τρέχουσας μέτρησης

MAXP : Μέγιστο επίπεδο θορύβου από την αρχή της τρέχουσας μέτρησης

Στις μετρήσεις των κραδασμών διατηρήθηκαν οι ρυθμίσεις του καθίσματος όπως τις είχε ο χειριστής. Επομένως οι μετρήσεις που παρουσιάζονται είναι αυτές που αντιμετωπίζουν οι χειριστές στις καθημερινές εργασίες τους στους αγρούς και δείχνουν το κίνδυνο που διατρέχουν να υποστούν βλάβες στην υγεία τους.

Για τους κραδασμούς μετρήθηκαν και αναλύθηκαν τα ακόλουθα:

MAXP : μέγιστο επίπεδο αιχμής

MINL: ελάχιστο επίπεδο RMS

AEQ : επίπεδο ισοδυνάμου συνεχούς κρα;δασμού (αντίστοιχο του Leq για θόρυβο)

MAXL : μέγιστο επίπεδο RMS

3. ΑΠΟΤΕΛΕΜΣΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Τα αποτελέσματα (Πίνακας 3) έδειξαν ότι σε πολλές περιπτώσεις ο θόρυβος ήταν μεγαλύτερος από τα επιτρεπόμενα όρια των 85 dBA. Λειτουργία σε ελαφρές εργασίες που δεν χρειάζονται όλη την ισχύ του ελκυστήρα προκαλεί μικρό επίπεδο θορύβων. Αντίθετα βαριές εργασίες αλλά σε ορισμένες περιπτώσεις και κίνηση στους δρόμους έδωσαν υψηλό επίπεδο θορύβων. Η διατήρηση της πόρτας ανοιχτής, μια πρακτική που πολλές φορές χρησιμοποιείται από τους αγρότες αυξάνει ουσιαστικά το επίπεδο των θορύβων. Σημαντική συμβολή στο αυξημένο επίπεδο των θορύβων παρατηρήθηκε ότι είχαν τα εργαλεία ελεύθερα στην καμπίνα, όπου πολλές φορές διατηρούν οι αγρότες στην καμπίνα.

Πίνακας 3. Μέσος μέγιστος θόρυβος σε διάφορες γεωργικές εργασίες

Είδος εργασίας, Είδος καμπίνας	Στροφές κινητήρα ανά λεπτό	Θόρυβος MAXLMEAN σε dBA
Όργωμα,Ευρωπαϊκή καμπίνα Κ	2500	87,7
Όργωμα,Ελληνική καμπίνα Α	2200	98,1
Θεριζοαν/σμός, Ευρωπαϊκή καμπίνα Κ	2200	90,5
Κοπή τριφυλλιού, Ευρωπαϊκή καμπίνα Κ	1500	88,4
Σκαλιστήρι, Ελληνική καμπίνα Α	1500	89,8
Ψεκασμός, Ελληνική καμπίνα Α	1500	89,7
Πορεία σε άσφαλτο, Ελληνική καμπίνα Α	2200	104,5
Ντοματοσυλλογή, Χωρίς καμπίνα	2200	88,9
Αγροτικό αυτοκίνητο	3800	82,7
Απλό ΙΧ	6000	80,5

Όπου Κ = τελείως κλειστή καμπίνα κατά τη διάρκεια των μετρήσεων
Α= ανοιχτή καμπίνα κατά τη διάρκεια των μετρήσεων

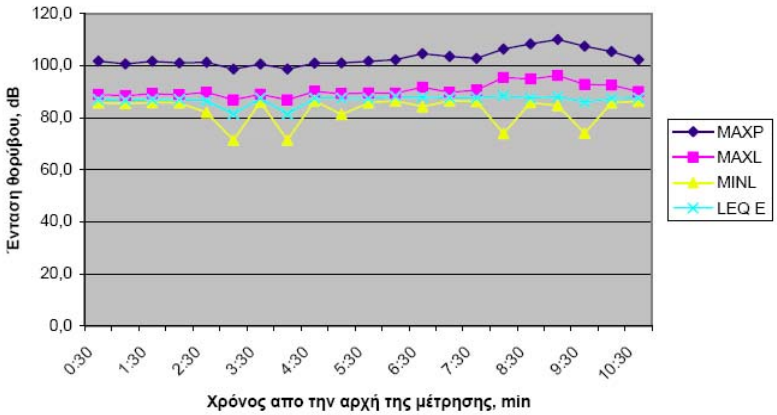
Είναι προφανές ότι σημαντικό ρόλο στο επίπεδο του θορύβου παίζει η ποιότητα κατασκευής της καμπίνας. Γενικά φαίνεται ότι υπάρχει πρόβλημα υψηλού θορύβου που θα πρέπει να προσεχθεί ιδιαίτερα από τους αγρότες και τις οργανώσεις τους. Σημειώνεται ότι οι επιπτώσεις στους αγρότες είναι μακροχρόνιες καθώς οι έκθεση στο θόρυβο δρα αθροιστικά και πολλοί αγρότες είναι χειριστές μηχανημάτων από μικρή ηλικία μέχρι αρκετά μεγάλη.. Συστηματικές μελέτες στο εξωτερικό έδειξαν ότι 25% των αγροτών παρουσιάζουν προβλήματα μειωμένης ακοής [1]. Στον Πίνακα 4 και στο Σχήμα 2 φαίνεται ένα δείγμα μετρήσεων θορύβου σε θεριζοαλωνιστική μηχανή. Ο θόρυβος είναι οριακά πάνω από τα 85 dBA και επομένως ο χειριστής πρέπει να εργάζεται λιγότερο από 8 ώρες κάτι που προφανώς δεν συμβαίνει.

Οι κραδασμοί ήταν γενικά χαμηλοί καθώς οι μετρήσεις έγιναν σε διάστημα που οι αγροί ήταν προετοιμασμένοι και ισοπεδωμένοι. Σε πολλές περιπτώσεις εμποδίων (βώλοι χώματος, πέτρες κλπ) η αναπήδηση προκάλεσε έντονους κραδασμούς. Συνέχιση των μετρήσεων θα δώσει σημαντικά στοιχεία για ην επίδραση τη χρήσης των γεωργικών μηχανημάτων στην υγεία των αγροτών αλλά και τρόπους αντιμετώπισης και/ή πρόληψης των αρνητικών επιπτώσεων.

Όπως φαίνεται από τον Πίνακα 5 το εύρος των τιμών της επιτάχυνσης είναι γενικά μεγάλο. Η ελάχιστη τιμή είναι περισσότερο ενδεικτική των περισσότερων τιμών ενώ η μέγιστη είναι παρουσιάζει τοπικά μέγιστα που προφανώς οφείλονται σε τυχαία εμπόδια που προκαλούν αναπηδήσεις του γεωργικού ελκυστήρα. Είναι χαρακτηριστικά τα διαγράμματα των μετρήσεως της Θ/Α (Πίνακας 6, Σχήμα 3, 4, 5) που οι περισσότερες τιμές είναι στα όρια των ανεκτών κραδασμών ενώ υπάρχει μια ανπήδηση στην αρχή της μέτρησης(1¨30 λεπτά μετά την έναρξη). Σε γενικές γραμμές οι τιμές είνια μάλλον χαμηλές και στα όρια της ανεκτής κατάστασης αλλά πάντα υπάρχουν σημεία αναπήδησης που δίνουν υψηλή ταλάντωση και ισχυρή δόνηση του χειριστή. Οι μετρήσεις που παρουσιάζονται και η εποχή που έγιναν καταγράφουν κινήσεις σε ομαλούς αγρούς. Πιστεύεται ότι μετρήσεις σε εποχές με ανώμαλα εδάφη και κίνηση σε αγροτικούς δρόμους θα δώσουν υψηλότερες τιμές.

Πίνακας 4. Μέτρηση θορύβου κατά τον Θεριζοαλωνισμό. Ευρωπαϊκή καμπίνα, κλειστή,

No	Date	Time	S - U	MAXP	MAXL	MINL	LEQ E	OVL	OVR	UNR	ELA.TIME
1	29/6/2006	11:05:06	FFA	101,7	88,9	85,7	86,9	0,00	0,00	0,00	0:30
2	29/6/2006	11:05:36	FFA	100,7	88,5	85,4	86,7	0,00	0,00	0,00	0:30
3	29/6/2006	11:06:06	FFA	101,6	89,2	85,8	87,0	0,00	0,00	0,00	0:30
4	29/6/2006	11:06:36	FFA	101,0	88,8	85,7	87,0	0,00	0,00	0,00	0:30
5	29/6/2006	11:07:06	FFA	101,3	89,7	82,0	86,5	0,00	0,00	0,00	0:30
6	29/6/2006	11:07:36	FFA	98,7	86,9	71,4	81,4	0,00	0,00	0,00	0:30
7	29/6/2006	11:08:06	FFA	100,6	89,0	86,1	87,5	0,00	0,00	0,00	0:30
8	29/6/2006	11:08:36	FFA	98,7	86,9	71,4	81,4	0,00	0,00	0,00	0:30
9	29/6/2006	11:09:06	FFA	100,9	90,1	86,5	87,5	0,00	0,00	0,00	0:30
10	29/6/2006	11:09:36	FFA	101,0	89,2	81,2	87,5	0,00	0,00	0,00	0:30
11	29/6/2006	11:10:06	FFA	101,6	89,5	85,7	87,3	0,00	0,00	0,00	0:30
12	29/6/2006	11:10:36	FFA	102,3	89,4	86,5	88,1	0,00	0,00	0,00	0:30
13	29/6/2006	11:11:06	FFA	104,6	91,7	84,3	87,9	0,00	0,00	0,00	0:30
14	29/6/2006	11:11:36	FFA	103,5	89,7	86,5	87,7	0,00	0,00	0,00	0:30
15	29/6/2006	11:12:06	FFA	102,8	90,5	86,2	87,7	0,00	0,00	0,00	0:30
16	29/6/2006	11:12:36	FFA	106,4	95,5	73,9	88,5	0,00	0,00	0,00	0:30
17	29/6/2006	11:13:06	FFA	108,4	94,8	85,8	87,6	0,00	0,00	0,00	0:30
18	29/6/2006	11:13:36	FFA	110,1	96,2	84,6	88,1	0,00	0,00	0,00	0:30
19	29/6/2006	11:14:06	FFA	107,5	92,8	74,1	86,0	0,00	0,00	0,00	0:30
20	29/6/2006	11:14:36	FFA	105,4	92,5	85,7	87,4	0,00	0,00	0,00	0:30
21	29/6/2006	11:15:06	FFA	102,3	90,0	86,3	87,5	0,00	0,00	0,00	0:30



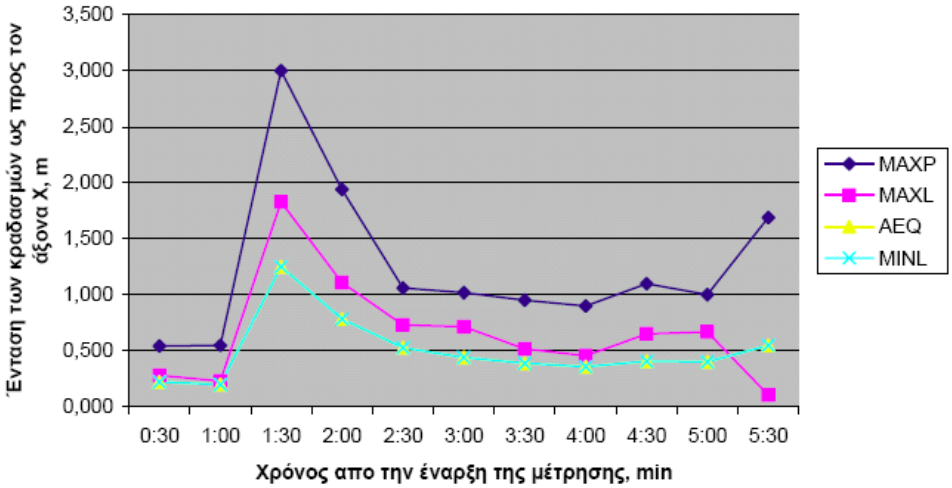
Σχήμα 2. Μετρήσεις θορύβου σε Θ/Α

Πίνακας 5. Ενδεικτικές τιμές επιτάχυνσης από καραδασμούς

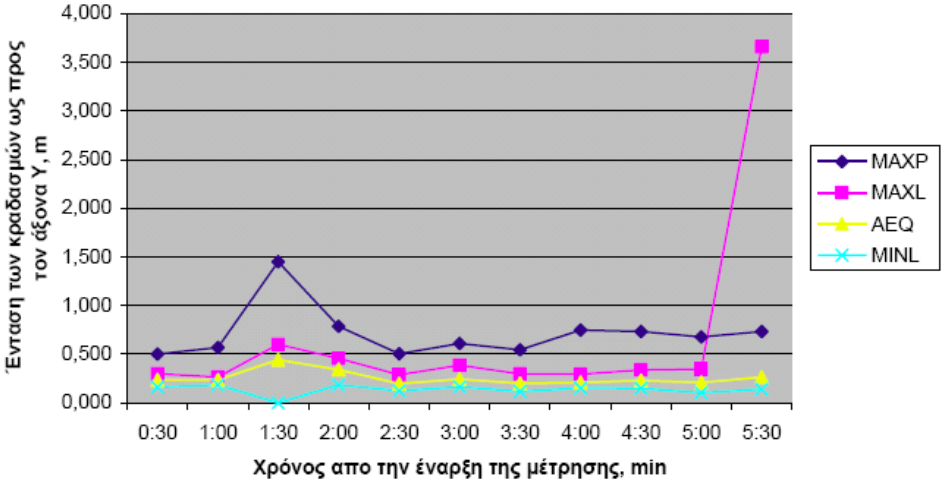
Εργασία	Μέριστο επίπεδο rms	Μέριστο επίπεδο rms	Μέριστο επίπεδο rms
	Κατακόρυφα	Οριχόντια κατά κίνηση	Οριζόντια κάθετα κίνηση
Άπλωμα σταλακτηφόρων	0,548-16,7	0,504-17,7	0,740-11.4
Θεριζοαλωνισμός	0,106-1,83	0,294-3,66	0,105-0,964
Σκαλιστήρι βαμβάκι (ελκ.)	0,410-14,4	0,346-17,3	0,600-11,100
Σκαλιστήρι βαμβάκι (κάθισμα σκαλιστήρι)	0,812-4,500	0,792-3,880	0,900-2,280
Κίνηση σε άσφαλτο	0,580-2,350	0,346-2,410	0,700-1,650
Γραμμική λίπανση βαμβάκι	0,358-1,070	0,278-1,060	0,420-1,610
;Οργωμα	0,868-25,10	0,568-17,300	1,420-17,500
Κοπή τριφυλιού	0,416-1,260	0,318-0,832	0,444-1,220

Πίνακας 6. Μέτρηση κραδασμών στο κάθισμα του χειριστή κατά το Θεριζοαλωνισμό.

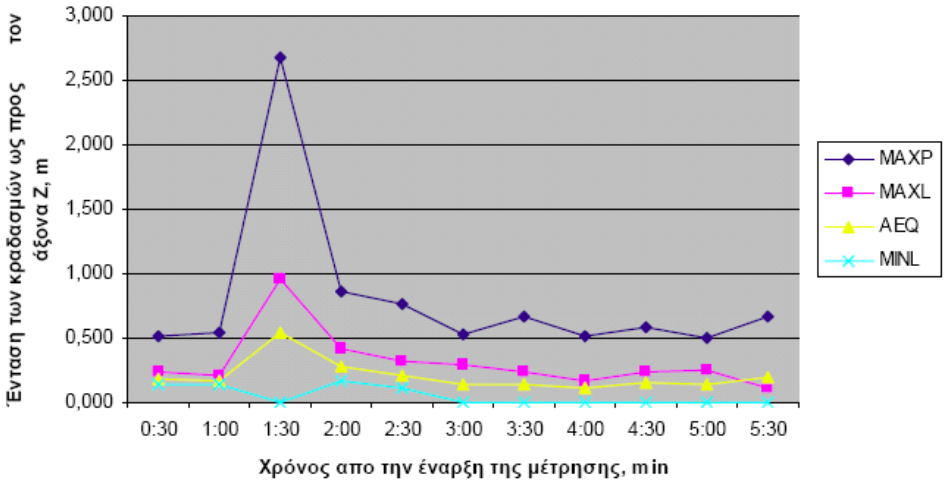
No	Time	Mode	MAXP			MAXL			AEQ			MINL			SUM	
			X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z		Duration
29	10:50:11	WB:LT	0,544	0,500	0,512	0,280	0,300	0,233	0,222	0,236	0,175	0,139	0,161	0,136	0,370	0:30
30	10:50:41	WB:LT	0,548	0,568	0,548	0,228	0,264	0,215	0,198	0,236	0,167	0,144	0,185	0,145	0,354	0:30
31	10:51:11	WB:LT	3,000	1,450	2,680	1,830	0,600	0,964	1,250	0,440	0,544	U	U	U	1,420	0:30
32	10:51:41	WB:LT	1,940	0,784	0,860	1,110	0,456	0,420	0,784	0,342	0,280	0,500	0,185	0,165	0,900	0:30
33	10:52:11	WB:LT	1,060	0,504	0,768	0,732	0,288	0,326	0,528	0,196	0,203	0,318	0,123	0,111	0,600	0:30
34	10:52:41	WB:LT	1,020	0,608	0,528	0,716	0,384	0,290	0,440	0,244	0,132	0,268	0,165	U	0,524	0:30
35	10:53:11	WB:LT	0,952	0,544	0,660	0,516	0,298	0,238	0,388	0,201	0,132	0,288	0,119	U	0,456	0:30
36	10:53:41	WB:LT	0,900	0,748	0,516	0,456	0,294	0,167	0,358	0,210	0,111	0,244	0,154	U	0,430	0:30
37	10:54:11	WB:LT	1,100	0,732	0,580	0,652	0,338	0,236	0,406	0,230	0,152	0,298	0,149	U	0,494	0:30
38	10:54:41	WB:LT	1,000	0,676	0,504	0,668	0,346	0,250	0,402	0,208	0,136	0,247	0,103	U	0,472	0:30
39	10:55:11	WB:LT	1,690	0,732	0,668	0,106	3,660	0,105	0,548	0,264	0,192	0,288	0,140	U	0,636	0:30



Σχήμα 3. Μέτρηση κραδασμών σε οριζόντιο επίπεδο κατά το θεριζοαλωνισμό



Σχήμα 4. Μέτρηση κραδασμών σε οριζόντιο επίπεδο κατά το θεριζοαλωνισμό



Σχήμα 5. Μέτρηση κραδασμών σε κατακόρυφο επίπεδο κατά το θεριζοαλωνισμό

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τα αποτελέσματα που παρουσιάστηκαν μπορούμε να συμπεράνουμε ότι:

1. Σε πολλές περιπτώσεις ο θόρυβος ξεπερνά τα ανεκτά όρια και πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στην ποιότητα των καμπίνων αλλά και στη διατήρηση των θυρών κλειστών κατά τη διάρκεια της εργασίας.
2. Σε περιπτώσεις ελκυστήρων χωρίς καμπίνες θα πρέπει να συστήνεται στους αγρότες η χρήση προστατευτικών στοιχείων στα αυτιά.
3. Οι κραδασμοί είναι γενικά χαμηλοί για τις κινήσεις μηχανημάτων που εξετάστηκαν αλλά υπάρχουν πάντα σημεία του χωραφιού με ιδιαίτερα υψηλούς κραδασμούς κάτι που γνωρίζουν όλοι οι χειριστές των γεωργικών μηχανημάτων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Wintetrs M. E. MacIntyre, C. Petrs, J. Thone, K. Teschke, H. Davies (2005). Noise and Hearing Loss in Farming.. Report prepared for Farm and Ranch Safety and Health Association, Langly, Brittish Columbia.
2. Balasubramanian K.,T.F.Burks,C.J. Lehtola,W.S. Lee (2006). Shock and Vibration Data Acquisition System for Off – Road Vehicle Operator Health and Safety Assessment. Journal of Agricultural Safety and Health 12(4)293-313
4. 3. Krayter K. D.(1994). The Handbook of hearing and the effects of noise. Physiology, Psycology and public health. Academic Press Ltd
5. Stikeleather L.F (1991). Seat vibration and Ride confort. In Human Factors: A series of quality instructions materials. ASAE St Joseph, Michigan, USA.
6. Griffin M.J. (1990). Handbook of Human Vibration. Academic Press Ltd

(187)

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ ΤΗΣ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ ΣΤΟ ΕΔΑΦΟΣ, ΤΑ ΦΥΤΑ ΚΑΙ ΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ

Καβαλάρης Χρ., Καραμούτης Χρ., Κ. Αγγελοπούλου, Θ.Α. Γέμτος
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Σχολή Γεωπονικών Επιστ., Τμ. Γεωπονίας Φ. Π. & Α. Π., Οδός Φυτόκου, 38446, Ν. Ιωνία Μαγνησίας, [α]gemtos@uth.gr,

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα συστήματα μειωμένης κατεργασίας θεωρούνται ότι μπορούν να συμβάλουν στην αειφορική διαχείριση του εδάφους. Μερικές φορές όμως μπορεί να συνοδεύονται με αρνητικές επιπτώσεις όπως η αύξηση της συμπίεσης του εδάφους, η εξάπλωση των ζιζανίων και η μείωση των αποδόσεων των καλλιεργειών. Για να μελετηθούν οι δυνατότητες περιορισμού των αρνητικών επιπτώσεων σε ένα μακροχρόνιο πείραμα κατεργασίας του εδάφους μετά από τέσσερα έτη έγινε αλλαγή της κατεργασίας. Η αλλαγή από τη μειωμένη κατεργασία σε συμβατική προκάλεσε μείωση της συμπίεσης των πληθυσμών των ζιζανίων αλλά και μείωση της οργανικής ουσίας. Το συμπέρασμα είναι ότι η ανά τακτά χρονικά διαστήματα βαθιά αναμόχλευση του εδάφους μειώνει τις αρνητικές επιπτώσεις αλλά και τα θετικά αποτελέσματα στην οργανική ουσία.

EFFECT OF CHANGING TILLAGE ON SOIL, PLANTS AND YIELD

C. Cavalaris, C. Karamoutis, K. Aggelopoulou, T.A. Gemtos
University of Thessaly, Sch. of Agricultural Sc., Dept. of Agriculture Crop Prod. & Rural Env., Fytokou Str, 38446, N. Ionia Magnesias, [a]gemtos@uth.gr

ABSTRACT

Reduced tillage is a key strategy for sustainable agriculture. Many times however adverse effects to soil and crops are reported. These effects are increased soil density and weed infestation and in many cases reduced yields. In order to study methods to reduce these adverse effects, in a long-term tillage experiment the tillage was changed after four years. The results showed that ploughing reduced the soil density as well weeds but at the some time soil organic matter was reduced although some residual effect was observed. The conclusion is that using ploughing every few years alleviated most of the adverse effects but the beneficial as well.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα συστήματα μειωμένης κατεργασίας τους εδάφους και η μηδενική κατεργασία έχουν σημαντικές θετικές επιδράσεις στο έδαφος. Μειώνοντας την αναμόχλευση του εδάφους και διατηρώντας την επιφάνια του καλυμμένη από φυτικά υπολείμματα εξασφαλίζουν μειωμένη διάβρωση και αυξημένη γονιμότητα του εδάφους [1]. Η χρήση μεθόδων μειωμένης κατεργασίας αυξάνει μακροχρόνια την οργανική ουσία [2] που είναι σημαντικός παράγοντας βελτίωσης της δομής του εδάφους. Ταυτόχρονα όμως προκαλούν σημαντικές αρνητικές επιπτώσεις στο έδαφος, την καλλιέργεια και τελικά στην παραγωγή. Οι συνήθεις αρνητικές επιπτώσεις είναι η συμπίεση του εδάφους που εκδηλώνεται με την αύξηση της πυκνότητας του και της αντίστασης σε διείσδυση [3], οι αυξημένοι πληθυσμοί ζιζανίων (κυρίως πολυετών) [4]. Οι δύο αυτοί παράγοντες θεωρήθηκαν οι αιτίες των μειωμένων αποδόσεων των καλλιεργειών σε πειράματα στο αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας με διάφορες καλλιέργειες [5]. Σε ένα μακροχρόνιο πείραμα σύγκρισης πέντε μεθόδων κατεργασίας του εδάφους μελετήθηκαν οι μακροχρόνιες επιδράσεις της κατεργασίας εδάφους και έδωσαν αποτελέσματα που επιβεβαίωσαν πολλά από τα στοιχεία της βιβλιογραφίας. Η εφαρμογή βαθιάς αναμόχλευσης του εδάφους μετά από μακροχρόνια χρήση μεθόδων συντηρήσεως του εδάφους είναι μια πιθανή λύση για μείωση της συμπίεσης. Συνδυασμός με αναστροφή του εδάφους θα οδηγήσει σε μείωση των ζιζανίων. Στη βιβλιογραφία υπάρχουν λίγες εργασίες που μελετούν την επίδραση αυτή. Οι Stockfisch και συνεργάτες [6] μελέτησαν την επίδραση του οργώματος στις ιδιότητες του εδάφους μετά από είκοσι χρόνια μειωμένης κατεργασίας. Βρήκαν ότι στα είκοσι έτη η οργανική ουσία των 5 εκατοστών εδάφους αυξήθηκε κατά 7 g/kg^{-1}. Με την εισαγωγή του οργώματος το επίπεδο της οργανικής ουσίας επανήλθε στα επίπεδα των αγρών που οργώνονταν. Οι Reeder και συνεργάτες [7], εκτίμησαν ότι η αναμόχλευση του εδάφους προκάλεσε την απώλεια του 60-75% του οργανικού C.

Προκειμένου να μελετηθούν τρόποι αποφυγής των προβλημάτων της συνεχούς μειωμένης κατεργασίας του εδάφους αποφασίστηκε να αλλάξει η κατεργασία μετά από τέσσερα έτη συνεχούς εφαρμογής μιας μεθόδου. Για να επιτευχθεί αυτό έγινε αλλαγή της κατεύθυνσης κατεργασίας που είχε ως αποτέλεσμα να δημιουργηθούν τεμάχια με τέσσερα έτη μιας κατεργασίας και το πέμπτο όλους τους συνδυασμούς των άλλων πέντε. Δηλαδή πέντε χρόνια συμβατικής κατεργασίας, τέσσερα χρόνια συμβατικής και το πέμπτο μειωμένης 1,2 και 3 ή μηδενικής κατεργασίας. Κάτι ανάλογο ίσχυσε για όλες τις κατεργασίες.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Τα πείραμα ξεκίνησε το 1997 σε δυο αγρούς στο Αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας. Μελετήθηκαν πέντε συστήματα κατεργασίας: 1) Συμβατική κατεργασία (Σ) με όργωμα σε βάθος 25-30 cm, προετοιμασία της σποροκλίνης με σβαρνίσματα. 2) Μειωμένη κατεργασία με βαρύ καλλιεργητή (ΒΚ) σε βάθος 20-25 cm, προετοιμασία της σποροκλίνης με σβαρνίσματα. 3) Μειωμένη κατεργασία με περιστροφικό σκαπτικό (ΠΣ) με κατακόρυφα ελάσματα σε βάθος 10-12 cm. 4) Μειωμένη κατεργασία με δισκοσβάρνα (Δ) σε βάθος 6-8 cm και 5) Ακαλλιέργεια (Α). Στην περίπτωση της ακαλλιέργειας έγινε καταστροφή των ζιζανίων με glyphosate (800 g/στρ) και απ' ευθείας σπορά. Το πειρατικό σχέδιο ήταν τυχαιοποιημένες ομάδες Το πείραμα σε αυτή του τη μορφή διατηρήθηκε για τέσσερα έτη. Στην διάρκεια αυτή παρατηρήθηκαν όλες οι αρνητικές επιπτώσεις στο έδαφος (αύξηση της συμπίεσης), αύξηση των ζιζανίων (ιδιαίτερα των πολυετών), μείωση των αποδόσεων αλλά και αύξηση της οργανικής ουσίας του εδάφους.

Το πέμπτο έτος αποφασίστηκε να γίνει αλλαγή της κατεργασίας κατά τέτοιο τρόπο ώστε να δημιουργηθούν όλοι οι δυνατοί συνδυασμοί των πέντε μεταχειρίσεων μεταξύ τους, δηλαδή πειραματικά τεμάχια με πέντε έτη από κάθε κατεργασία και τεμάχια με τέσσερα έτη από μια κατεργασία και το πέμπτο έτος όλοι οι συνδυασμοί με τις υπόλοιπες τέσσερις (Πίνακας 1). Τα πειρατικά τεμάχια που δημιουργήθηκαν είχαν διαστάσεις 6Χ9 m. Στον ένα πειραματικό αγρό καλλιεργήθηκαν ζαχαρότευτλα. και στον άλλο σιτάρι. Στην εργασία αυτή παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για τα ζαχαρότευτλα.

Πίνακας 1. Συνδυασμοί κατεργασιών εδάφους.

Πρώτα 4 έτη / 5ο έτος	**Σ**	**ΒΚ**	**ΠΚ**	**Δ**	**Α**
Σ	5Σ	4ΒΚ+1Σ	4ΠΚ+1Σ	4Δ+1Σ	4Α+1Σ
ΒΚ	4Σ+1ΒΚ	5ΒΚ	4ΠΚ+1ΒΚ	4Δ+1ΒΚ	4Α+1ΒΚ
ΠΚ	4Σ+1ΠΚ	4ΒΚ+1ΠΚ	5ΠΚ	4Δ+1ΠΚ	4Α+1ΠΚ
Δ	4Σ+1Δ	4ΒΚ+1Δ	4ΠΚ+1Δ	5Δ	4Α+1Δ
Α	4Σ+1Α	4ΒΚ+1Α	4ΠΚ+1Α	4Δ+1Α	5Α

Η σπορά έγινε στις 9/3/2001. Χρησιμοποιήθηκε η ποικιλία DOROTHEA σε δυο πυκνότητες σποράς (16.700 και 13.300 φυτά/στρ), (τα κύρια τεμάχια 6Χ9 m διαιρέθηκαν σε υπο-τεμάχια διαστάσεων 3Χ9 m σε κάθε ένα από τα οποία τοποθετήθηκε μια πυκνότητα σποράς. Το πειραματικό σχέδιο διαμορφώθηκε λοιπόν σε τυχαιοποιημένες ομάδες με υπο-ομάδες.

Οι καλλιεργητικές φροντίδες ήταν κοινές και περιελάμβαναν βασική λίπανση με 10-5-5 μονάδες N-P-K. Για τον έλεγχο των ζιζανίων έγινε προφυτρωτική εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων ATLAS 400 l/στρ και PYRAMIN 200 l/στρ. Μετά το φύτρωμα, πραγματοποιήθηκαν δυο συνολικά ψεκασμοί με το μείγμα: BETANAL 50l/στρ, GOLTIX 50l/στρ, NORTRON 50l/στρ. Επίσης έγινε δυο φοράς ψεκασμός με GALLAND'S (80 g/στρ) για τα αγροστώδη. Τέλος, για την καταπολέμηση του κίρσιου, χρησιμοποιήθηκε το σκεύασμα LONTREL σε δόση 40 g/στρ.

Τα ποτίσματα έγιναν με σταλακτηφόρους σωλήνες με τετράλιτρους σταλάκτες σε αποστάσεις 1m που τοποθετήθηκαν ανά δεύτερη γραμμή της καλλιέργειας. Στον πίνακα 2 φαίνονται οι ημερομηνίες και οι δόσεις άρδευσης κατά την καλλιεργητική περίοδο.

Πίνακας 2. Ποτίσματα που πραγματοποιήθηκαν κατά την καλλιεργητική περίοδο.

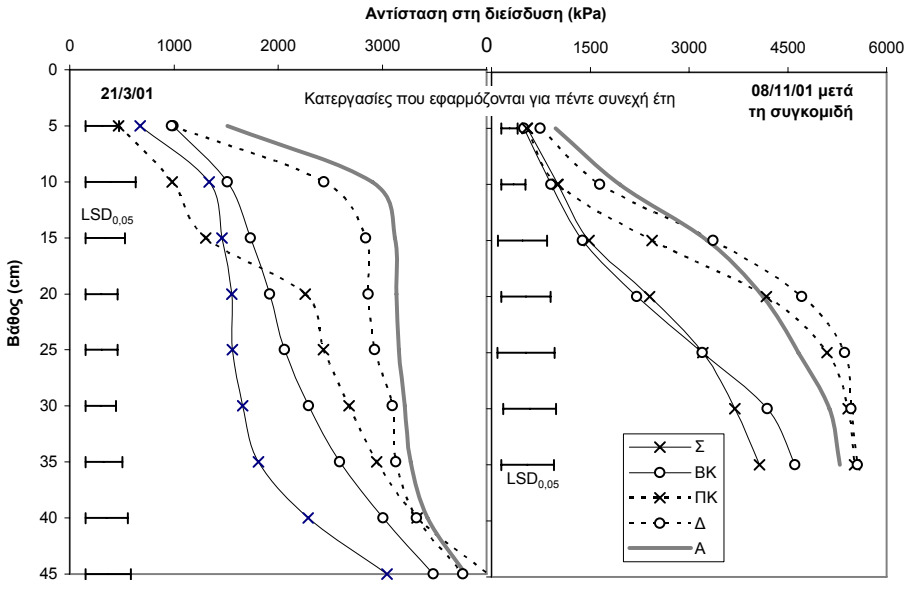
Ημερομηνία:	1/6	11/6	22/6	9/7	17/7	24/7	31/7	8/8	21/8	5/9	σύνολο
Δόση άρδευσης:	48	72	48	64	64	64	60	60	60	30	570

Κατά τη διάρκεια του πειράματος μετρήθηκαν:

1. Οι φυσικές ιδιότητες του εδάφους με μέτρηση της αντίστασης στη διείσδυση ανά 1 cm και μέχρι τα 50 cm με ένα ηλεκτρονικό διεισδυσιόμετρο.
2. Η οργανική ουσία του εδάφους σε βάθη 0-10 και 10-20 cm.
3. Το φύτρωμα της καλλιέργειας με μέτρηση του αριθμού των φυτών σε δύο σειρές από πέντε μέτρα.
4. Η παραγωγή των ζαχαροτεύτλων σε κάθε πειραματικό τεμάχιο

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Στο Σχήμα 1α φαίνεται ότι στην αρχή της περιόδου η κατεργασία του εδάφους χαλαρώνει το έδαφος Η αντίσταση σε διείσδυση είναι πολύ μεγαλύτερη στην ακαλλιέργεια και στη μειωμένη κατεργασία έναντι της συμβατικής. Στο τέλος της περιόδου το έδαφος συμπιέζεται από τις καλλιεργητικές φροντίδες και τη μηχανική συγκομιδή και οι διαφορές μειώνονται σημαντικά (σχήμα 1β). Η πρωτογενής κατεργασία θα επαναφέρει το πορώδες του εδάφους και την αντίσταση του εδάφους στην κατάσταση που φαίνεται στο Σχήμα 1α.



Σχήμα 1 Επίδραση των κατεργασιών του εδάφους στην αντίσταση σε διείσδυση. α) 21/3/01 στην αρχή της περιόδου, β) 8/11/01 μετά τη συγκομιδή των ζαχαροτεύτλων.

Από τον πίνακα 3 μπορεί να διαπιστωθεί ότι, σε σχέση με την συμβατική κατεργασία, η % περιεκτικότητα του εδάφους σε οργανική ουσία, σε βάθος 0-10 cm, ήταν κατά 0,65 υψηλότερη έπειτα από πέντε έτη συνεχούς κατεργασίας με βαρύ καλλιεργητή, κατά 0,57 υψηλότερη έπειτα από πέντε έτη κατεργασίας με περιστροφικό καλλιεργητή, κατά 0,76 υψηλότερη έπειτα από πέντε έτη κατεργασίας μόνο με δισκοσβάρνα και κατά 1,19 υψηλότερη, έπειτα από πέντε έτη εφαρμογής ακαλλιέργειας. Συγκρίνοντας την αύξηση της οργανικής ουσίας που συνέβη στις μεθόδους μειωμένης κατεργασίας του εδάφους μέσα σε μια πενταετία, σε σχέση με την αύξηση που συνέβη στο πρώτο έτος από την εφαρμογή τους, διαπιστώνεται ότι μια σημαντική βελτίωση παρουσιάζεται ήδη από το πρώτο έτος. Για παράδειγμα, κατά το πρώτο έτος κατεργασίας με βαρύ καλλιεργητή σε τεμάχια τα οποία υπόκειντων σε συμβατική κατεργασία, προέκυψε μια βελτίωση της οργανικής ουσίας κατά 0,24%. Κατά την εφαρμογή όμως περιστροφικού καλλιεργητή, η οργανική ουσία μειώθηκε κατά 0,08%. Κατά την εφαρμογή της μεθόδου με δισκοσβάρνα προέκυψε μια βελτίωση κατά 0,44% ενώ κατά το πρώτο έτος της εφαρμογής της ακαλλιέργειας μια βελτίωση κατά 0,25%. Ομοίως, κατά την εφαρμογή οργώματος έπειτα από τέσσερα συνεχόμενα έτη εφαρμογής ακαλλιέργειας προκύπτει μια μείωση της οργανικής ουσίας κατά 1,04%, κατά την εφαρμογή βαρύ καλλιεργητή μια μείωση της τάξης του 0,38%, κατά την εφαρμογή

περιστροφικού καλλιεργητή, μείωση της τάξης του 0,39% ενώ κατά την εφαρμογή δισκοσβάρνας μια βελτίωση της τάξης του 0,06%.

Πίνακας 3. Οργανική ουσία του εδάφους σε βάθος 0-10 εκατοστά.

0 - 10 cm	**Προηγούμενη κατεργασία**						*μέσος όρος*
	Σ	**ΒΚ**	**ΠΚ**	**Δ**	**Α**		
Πρόσφατη κατεργασία							
Σ	1,59	1,92	1,73	1,88	1,74		1,77
ΒΚ	1,83	2,24	2,18	2,22	2,40		2,17
ΠΚ	1,51	1,75	2,17	2,09	2,39		1,98
Δ	2,03	2,29	2,63	2,35	2,83		2,43
Α	1,84	2,33	2,35	2,51	2,78		2,36
μέσος όρος	1,76	2,11	2,21	2,21	2,43	**	**
ΕΣΔ (P = 95%)						0,14	0,14
ΕΣΔ (P = 99%)						0,18	0,18
(CV%)				10,26			

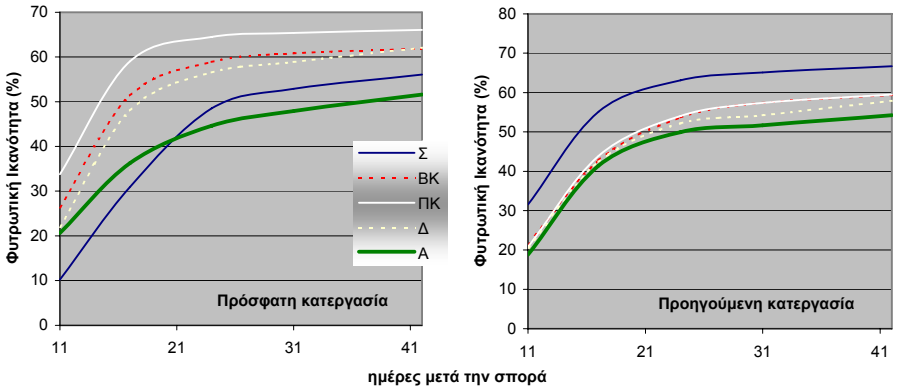
Πίνακας 4. Οργανική ουσία του εδάφους σε βάθος 10-20 εκατοστά.

10 - 20 cm	**Προηγούμενη κατεργασία**						*μέσος όρος*
	Σ	**ΒΚ**	**ΠΚ**	**Δ**	**Α**		
Πρόσφατη κατεργασία							
Σ	1,77	1,78	1,87	1,63	1,96		1,80
ΒΚ	1,54	1,63	1,54	1,56	1,60		1,57
ΠΚ	1,38	1,49	1,51	1,53	1,40		1,46
Δ	1,62	1,50	1,61	1,48	1,57		1,56
Α	1,48	1,53	1,43	1,39	1,33		1,43
μέσος όρος	1,56	1,58	1,59	1,52	1,57	**ns**	**
ΕΣΔ (P = 95%)						-	0,15
ΕΣΔ (P = 99%)						-	0,20
(CV%)				15,46			

Σε μεγαλύτερο βάθος (10–20cm) η κατάσταση φαίνεται σημαντικά διαφοροποιημένη (Πίνακας 4). Στην στοιβάδα αυτή την υψηλότερη περιεκτικότητα σε οργανική ουσία παρουσίαζε η συμβατική κατεργασία. Με το όργωμα τα φυτικά υπολείμματα ενσωματώνονται στο έδαφος όπου και αποσυντίθενται εμπλουτίζοντάς το με οργανική ουσία. Μάλιστα ο εμπλουτισμός με οργανική ουσία ήταν μέγιστος όταν εφαρμόστηκε όργωμα μετά από τέσσερα χρόνια εφαρμογής ακαλλιέργειας. Στην περίπτωση αυτή, με την αναστροφή του εδάφους, η οργανική ουσία που είχε συσσωρευτεί στην επιφάνεια του ακαλλιέργητου εδάφους, ενσωματώθηκε στα βαθύτερα στρώματα. Την δεύτερη υψηλότερη περιεκτικότητα σε οργανική ουσία σε βάθος 10-20 cm παρουσίασε η μεθοδος του βαρύ καλλιεργητή ενώ την χαμηλότερη περιεκτικότητα είχε η μέθοδος της ακαλλιέργειας. Στη μέθοδο αυτή τα φυτικά υπολείμματα αποσυντίθονταν παραμένοντας στην επιφάνεια ενώ σε μεγαλύτερα βάθη η οργανική ουσία προέρχονταν αποκλειστικά από την αποσύνθεση ριζών και την δράση των μικροοργανισμών του εδάφους.

Το φύτρωμα των τεύτλων παρουσίασε την ίδια συμπεριφορά στην πυκνή και αραιή σπορά. Αν και οι τελικοί πληθυσμοί ήταν διαφορετικοί, η επίδραση των κατεργασιών ήταν η ίδια. Για το λόγο αυτό παρουσιάζονται αντιπροσωπευτικά τα αποτελέσματα για την πυκνή σπορά. Στο Σχήμα 2 φαίνεται η εξέλιξη του φυτρώματος για τους

συνδυασμούς των κατεργασιών των πρόσφατων και των προηγούμενων ετών. Στην μέθοδο ΠΚ παρατηρήθηκε πρωίμιση και σχετικά ταχύτερη εξέλιξη του φυτρώματος γεγονός που πιθανώς οφείλεται στο ότι η σποροκλίνη διατηρούσε σταθερά ένα υψηλό ποσοστό υγρασίας ενώ το έδαφος ήταν πιο ψιλοχωματισμένο με αποτέλεσμα να βελτιώνεται η επαφή του σπόρου με το έδαφος και η πρόσληψη υγρασίας. Ακολουθούν οι μέθοδοι ΒΚ και Δ ενώ η μέθοδο της ακαλλιέργειας, αν και ξεκίνησε μαζί με τις δυο προηγούμενες ήταν τελικά αυτή που εμφάνισε τους μικρότερους πληθυσμούς. Το ιδιαίτερα συνεκτικό και συμπαγές ακαλλιέργητο έδαφος της επιφάνειας, αφ' ενός εμπόδιζε την διείσδυση των μηχανισμών της σπαρτικής με αποτέλεσμα η σπορά να γίνει σε ανεπαρκές βάθος. Συνάμα, η έλλειψη ψιλοχωματισμένου εδάφους δεν επέτρεψε την επικάλυψη του σπόρου μέσα στο ρηχό αυλάκι. Το βραδύτερο φύτρωμα παρατηρήθηκε στην μέθοδο της συμβατικής κατεργασίας Έντεκα ημέρες από τη σπορά στην μέθοδο αυτή είχε φυτρώσει μόλις το 10% του σπόρου. Τελικά η μέθοδος παρουσίασε υψηλότερους πληθυσμούς από την ακαλλιέργεια αλλά μικρότερους από τις άλλες τρεις μεταχειρίσεις. Κύρια αιτία για το μειωμένο φύτρωμα ήταν το σημαντικά μικρότερο ποσοστό υγρασίας που διατηρούταν στην περιοχή της σποροκλίνης.



Σχήμα 2. Εξέλιξη του φυτρώματος των τεύτλων.

Πίνακας 5. Απόδοση των τεύτλων για τις μεταχειρίσεις κατεργασίας στις δυο πυκνότητες σποράς.

		Απόδοση τεύτλων (t/στρ)											
		Αραιή σπορά						Πυκνή σπορά					
		Προηγούμενη κατεργασία											
		Σ	ΒΚ	ΠΚ	Δ	Α	*μέσος*	Σ	ΒΚ	ΠΚ	Δ	Α	*μέσος*
Πρόσφατη κατεργασία	**Σ**	8,7	8,7	8,2	8,7	9,2	8,7	9,42	8,90	8,47	6,94	7,45	8,24
	ΒΚ	9,4	8,8	6,8	7,5	9,0	8,3	8,19	8,62	7,89	8,84	6,59	8,03
	ΠΚ	9,3	9,4	8,0	8,0	7,8	8,5	9,33	8,71	7,83	7,42	7,51	8,16
	Δ	9,8	7,3	6,5	6,2	6,3	7,2	6,05	5,54	4,94	4,33	5,67	5,31
	Α	8,8	7,2	7,3	8,1	5,7	7,4	6,94	6,85	6,74	5,49	5,88	6,38
	Μέσος	9,2	8,3	7,4	7,7	7,6		7,98	7,73	7,17	6,60	6,62	

$LSD_{0,05}$ για κύριες επιδράσεις =0,43, $LSD_{0,05}$ για αλληλεπιδράσεις =1,13, CV% = 13,0

Σημαντική ήταν επίσης και η επίδραση της κατεργασίας των προηγούμενων ετών (Σχήμα 2). Αντίθετα με ότι συνέβαινε με την πρόσφατη κατεργασία, σε όσα τεμάχια είχε εφαρμοστεί όργωμα κατά τα προηγούμενα έτη, το φύτρωμα ήταν καλύτερο και πρωιμότερο. Προφανώς το έδαφος εξαιτίας της εντατικής κατεργασίας τα προηγούμενα

έτη είχε μια λιγότερο σταθερή δομή με αποτέλεσμα να ψιλοχωματίζεται ευκολότερα. Αντίθετα στα τεμάχια που ήταν ακαλλιέργητα τα προηγούμενα έτη το έδαφος είχε αναπτύξει μια σταθερή δομή και δεν ήταν το ίδιο εύκολο να θρυμματιστεί με τα μηχανήματα κατεργασίας. Οι μεγαλύτεροι βώλοι και τα συσσωματώματα που δημιουργήθηκαν δεν διευκόλυναν την καλή επαφή του σπόρου με το έδαφος γεγονός που τελικά οδήγησε σε ένα μειωμένο φύτρωμα.

Από τον Πίνακα 5 διαπιστώνεται ότι υπήρξαν σημαντικές διαφορές στην απόδοση των τεύτλων τόσο όσο αναφορά τις πρόσφατες όσο και τις προηγούμενες κατεργασίες του εδάφους. Συγκρίνοντας τις πρόσφατες κατεργασίες διαπιστώνεται ότι μεταξύ της συμβατικής κατεργασίας, του βαρύ καλλιεργητή και του περιστροφικού καλλιεργητή δεν υπήρξαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές. Με σημαντικά μειωμένες αποδόσεις ωστόσο εμφανίζονται οι μέθοδοι της δισκοσβάρνας και της ακαλλιέργειας.

Στον ίδιο πίνακα, συγκρίνοντας τις προηγούμενες κατεργασίες διαπιστώνεται ότι αυτές που προκαλούσαν χαλάρωση του εδάφους σε ένα μεγαλύτερο βάθος, βοήθησαν στην επίτευξη υψηλότερων αποδόσεων. Σημαντικά υψηλότερες αποδόσεις επιτεύχθηκαν στα τεμάχια που κατά τα προηγούμενα έτη εφαρμοζόταν όργωμα. Στην συνέχεια ήταν η μέθοδος του βαρύ καλλιεργητή ενώ σημαντικά μικρότερες αποδόσεις επιτεύχθηκαν στα τεμάχια που εφαρμόζονταν αβαθείς κατεργασίες με περιστροφικό καλλιεργητή και δισκοσβάρνα καθώς και στην ακαλλιέργεια.

Από την μελέτη των αλληλεπιδράσεων της προηγούμενης με την πρόσφατη κατεργασία διαπιστώνεται ότι η υψηλότερη απόδοση επιτεύχθηκε στη μέθοδο του περιστροφικού καλλιεργητή όταν όμως αυτός ακολουθούσε όργωμα ή κατεργασία με βαρύ καλλιεργητή. Όταν η προηγούμενη κατεργασία ήταν άβαθης, (περιστροφικός καλλιεργητής ή δισκοσβάρνα) ή όταν εφαρμοζόταν ακαλλιέργεια, η υψηλότερη απόδοση παρατηρήθηκε στη συμβατική κατεργασία και στη συνέχεια στον βαρύ καλλιεργητή. Οι μέθοδοι της δισκοσβάρνας και της ακαλλιέργειας ως πρόσφατες κατεργασίες, έδωσαν σημαντικά μειωμένες αποδόσεις ανεξάρτητα με το είδος της προηγούμενης κατεργασίας. Αξιοσημείωτο όμως είναι το γεγονός ότι η μείωση ήταν πολύ μικρότερη στην περίπτωση όπου η προηγούμενη κατεργασία περιλάμβανε όργωμα. Όπως φάνηκε και από τις μετρήσεις της αντίστασης του εδάφους στην διείσδυση το έδαφος στα τεμάχια αυτά ήταν πιο χαλαρό ως συνέπεια της υπολειμματικής επίδρασης του οργώματος. Το γεγονός αυτό φαίνεται ότι διευκόλυνε την ανάπτυξη των φυτών. Οι χαμηλότερες αποδόσεις σημειώθηκαν στα τεμάχια όπου εφαρμοζόταν για πέμπτη συνεχή χρονιά κατεργασία με δισκοσβάρνα ή ακαλλιέργεια.

Τέλος σημαντικές διαφορές στην απόδοση διαπιστώθηκαν μεταξύ πυκνής και αραιής σποράς. Στην πρώτη περίπτωση η μέση απόδοση ανέρχονταν στους 8,03 t/στρ και στην δεύτερη στους 7,22 t/στρ.

4.ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τα παραπάνω αποτελέσματα προκύπτει ότι:

- Τα συστήματα μειωμένης κατεργασίας αυξάνουν την οργανική ουσία αλλά προκαλούν και αύξηση της συμπίεσης του εδάφους.
- Εντατικότερη κατεργασία περιορίζει τη συμπίεση αλλά μειώνει και την οργανική ουσία.
- Υπάρχουν υπολειμματικές επιδράσεις των μεθόδων βαθιάς κατεργασίας στην χαλάρωση του εδάφους που επιδρούν θετικά στην παραγωγή των επόμενων ετών.
- Η χρήση βαρύ καλλιεργητή αποτελεί μια συμβιβαστική προσέγγιση για την ελάττωση της συμπίεσης με μικρότερες απώλειες οργανικής ουσίας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Yoo, K.H., Touchton, J.T. and Walker, R.H. (1988). Runoff, sediment and nutrient losses from various tillage systems of cotton. Soil and Tillage. Research. 12: 13-24.
2. Peterson, G.A., Halvorson, A.D. Havlin, J.L. Jones, O.R. Lyon, D.J. and Tanaka, D.L. (1998). Reduced tillage and increasing cropping intensity in the Great Plains conserves soil C, Soil and Tillage Research, Volume 47, Issues 3-4, 6: 207-218
3. Salinas-Garcia, J.R., Matocha, J.E. and Hons, F.M. (1997). Long-term tillage and nitrogen fertilization effects on soil properties of an Alfisol under dryland corn/cotton production, Soil and Tillage Research, Volume 42, (1-2), pp 79-93
4. Gill, K.S. and Arshad, M.A. (1995). Weed flora in the early growth period of spring crops under conventional, reduced, and zero tillage systems on a clay soil in northern Alberta, Canada, Soil and Tillage Research, 33, (1): 65-79
5. Cavalaris 2004. Ph.d. Thesis University of Thessaly, Greece.
6. Stockfisch, N., Forstreuter, T. and Ehlers, W. (1999). Ploughing effects on soil organic matter after twenty years of conservation tillage in Lower Saxony, Germany, Soil and Tillage Research, 52, (1-2): 91-101
7. Reeder, J.D., Schuman, G.E. and Bowman, R.A. (1998). Soil C and N changes on conservation reserve program lands in the Central Great Plains, Soil and Tillage Research, 47, (3-4): 339-349

(189)

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΚΑΙ ΔΟΚΙΜΗ ΕΝΟΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΑ ΙΣΧΥΟΔΟΤΟΥΜΕΝΟΥ ΔΙΕΙΣΔΥΣΙΟΜΕΤΡΟΥ

Χ. Καραμούτης[1], Χ. Καβαλάρης[1], Δ. Παράφορος[2], Ο. Παπαδοπούλου[2], Κ. Κολιπέτσας[2] και Θ.Α. Γέμτος[1]

[1]Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Σχολή Γεωπονικών Επιστ., Τμ. Γεωπονίας Φ. Π. & Α. Π., Οδός Φυτόκου, 38446, Ν. Ιωνία Μαγνησίας, [α]gemtos@uth.gr,
[2]ΤΕΙ Χαλκίδας Τμήμα Αυτοματισμών Ψαχνά Ευβοίας Τ.Κ. 34400

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η μέτρηση της αντίστασης του εδάφους είναι ευρέως διαδεδομένη λόγω της σχετικής ευκολίας λήψης παρατηρήσεων. Στην περίπτωση όμως που απαιτείται μια πληθώρα δεδομένων, όπως συνήθως συμβαίνει στον γεωργικό πειραματισμό, τότε, η μέθοδος ενδέχεται να αποδειχθεί επίπονη και κοπιαστική, ιδιαιτέρα αν το έδαφος είναι ξηρό. Για το λόγο αυτό σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε ένα υδραυλικά ισχυοδοτούμενο από γεωργικό ελκυστήρα διεισδυσιόμετρο με μια συστοιχία πέντε κώνων και αναπτύχθηκε το κατάλληλο λογισμικό για την λήψη των δεδομένων. Η συσκευή δοκιμάστηκε στον αγρό δίνοντας ικανοποιητικά αποτελέσματα.

DESIGN, CONSTRUCTION AND TESTING OF A HYDRAULICALLY POWERED PENETROMETER

C. Karamoutis[1], C. Cavalaris[1], D. Paraforos[2], O. Papadopoulou[2], K. Kolipetsas[2] and T.A. Gemtos[1]

University of Thessaly, Sch. of Agricultural Sc., Dept. of Agriculture Crop Prod. & Rural Env., Fytokou Str, 38446, N. Ionia Magnesias, [a]gemtos@uth.gr
Technological Institute of Chalkida, Dept of Automization Psachna Evias38400

ABSTRACT

Soil penetration resistance is a widely used method for testing soil compaction due to its convenience and quickness. However when a great number of samples is required, as it is usually the case in agricultural experimentation the method may prove a heavy task especially for dry soil conditions. For this reason a tractor hydraulically driven implement with a five cone gang was designed and constructed and a software was developed to obtain the data in a PC. The implement was tested in the field with good results

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η αντίσταση του εδάφους στην διείσδυση αποτελεί μια εύκολη και ταχεία μέθοδο εκτίμησης της συνοχής και της συμπίεσης του εδάφους. Το σημαντικό της πλεονέκτημα είναι ότι μπορούν να γίνουν in situ μετρήσεις στον αγρό χωρίς να απαιτείται δειγματοληψία εδάφους κερδίζοντας χρόνο και αυξάνοντας τον όγκο των δεδομένων. Τα διεισδυσιόμετρα αποτελούνται έναν μεταλλικό κώνο καθορισμένων διαστάσεων που βρίσκεται στο άκρο μιας μεταλλικής ράβδου η οποία πιέζεται χειρονακτικά να εισέλθει μέσα στο έδαφος. Συνήθως για γεωργική χρήση το βάθος φθάνει τα 50 cm. Στις σύγχρονες συσκευές τα δεδομένα της αντίστασης που προβάλει το έδαφος στην διείσδυση του κώνου καταγράφονται σε ένα ηλεκτρονικό καταχωρητή δεδομένων. Παράλληλα καταγράφεται και το βάθος δειγματοληψίας. Η χειρονακτική αυτή εργασία ωστόσο είναι επίπονη ιδίως όταν το έδαφος είναι συμπιεσμένο καθιστώντας την συλλογή μεγάλου αριθμού δεδομένων για πειραματικούς σκοπούς ιδιαίτερα κοπιαστική Για τον λόγο αυτό έχουν γίνει προσπάθειες από ερευνητές για υδραυλική υποβοήθηση και αυτοματοποίηση της διαδικασίας των μετρήσεων. [2],[3].

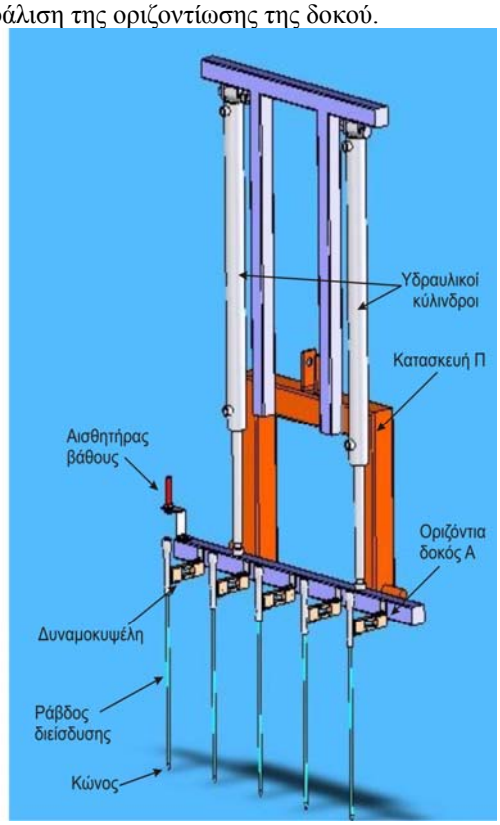
Στο εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας του Π.Θ. επιχειρήθηκε η κατασκευή ενός διεισδυσιόμετρου αναρτώμενο στο υδραυλικό σύστημα τριών σημείων και ισχυοδοτούμενο από τα υδραυλικά του γεωργικού ελκυστήρα. Η καινοτομία της κατασκευής είναι ότι χρησιμοποιεί μια συστοιχία από πέντε στελέχη που σε κάθε κάθοδο λαμβάνουν μέτρηση σε πέντε διαφορετικά σημεία αυξάνοντας σημαντικά την απόδοση της διαδικασίας. Τα στελέχη είναι διατεταγμένα στη σειρά και σε αποστάσεις 20 cm μεταξύ τους. Με τον τρόπο αυτό καταγράφεται η συμπίεση σε μια κατακόρυφη κατατομή του εδάφους μήκους 1 m και βάθους 0,5 m. Η μέτρηση της αντίστασης του εδάφους στην διείσδυση γίνεται από μια δυναμοκυψέλη που συγκρατεί το κάθε στέλεχος. Τα στοιχεία οδηγούνται σε μια κάρτα ADC και στην συνέχεια σε ένα φορητό Η/Υ, όπου για την καταγραφή των δεδομένων έχει αναπτυχθεί ανάλογο λογισμικό. Η συχνότητα δειγματοληψίας και ο συνολικός χρόνος λήψης δειγμάτων μπορεί να καθοριστεί από τον χρήστη. Παράλληλα λαμβάνονται στοιχεία μέτρησης του βάθους διείσδυσης μέσω ενός αισθητήρα υπερήχων που βρίσκεται προσαρμοσμένος επάνω στο όργανο. Τα στοιχεία αυτά οδηγούνται σε μια κάρτα μέτρησης παλμών και στην συνέχεια με την βοήθεια του λογισμικού καταγράφονται στον Η/Υ. Το σύστημα έχει την δυνατότητα σύνδεσης με GPS για καταγραφή του στίγματος της δειγματοληψίας. Το όργανο αναμένεται να βοηθήσει σημαντικά τους ερευνητικούς σκοπούς του εργαστηρίου καθώς έχει την δυνατότητα λήψης εύκολα και ταχύτατα ενός μεγάλου αριθμού δειγμάτων και επιπλέον καθιστά δυνατή τη λήψη μετρήσεων σε συμπιεσμένα και συνεκτικά εδάφη όπου η χειρονακτική διείσδυση του κώνου δεν ήταν δυνατή.

2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ

Ο σχεδιασμός και η υλοποίηση των μηχανικών μερών, του ηλεκτρονικού κυκλώματος και του συνοδού λογισμικού του διεισδυσιόμετρου έγινε στο Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας του Π.Θ. Η συσκευή αποτελείται από μια στιβαρή μηχανική κατασκευή που εκμεταλλεύεται την υδραυλική ισχύ του γεωργικού ελκυστήρα για να πιέσει μια συστοιχία πέντε κατακόρυφων στελεχών με κωνική απόληξη στο έδαφος. Η αντίσταση που προβάλει το έδαφος στην διείσδυση των κώνων μετράται από πέντε αντίστοιχες δυναμοκυψέλες. Παράλληλα, με έναν αισθητήρα υπερήχων μετράται το βάθος της διείσδυσης. Τα στοιχεία αφού μετατραπούν σε ψηφιακή μορφή καταγράφονται σε ένα φορητό ηλεκτρονικό υπολογιστή που μπορεί να φέρεται πάνω στον γεωργικό ελκυστήρα. Το σύστημα παρέχει την δυνατότητα σύνδεσης με GPS για παράλληλη καταγραφή του γεωγραφικού στίγματος της εκάστοτε δειγματοληψίας.

2.1 Μηχανική διάταξη

Το πλαίσιο της συσκευής κατασκευάστηκε να προσαρμόζεται στο υδραυλικό σύστημα ανάρτησης τριών σημείων του γεωργικού ελκυστήρα. Η βασική διάταξη περιλαμβάνει μια κατασκευή σχήματος Π από κοιλοδοκούς 10Χ10 cm η οποία φέρει τα τρία σημεία σύνδεσης με το υδραυλικό του γεωργικού ελκυστήρα (Σχήμα 1). Πάνω σε αυτή τη κατασκευή συνδέεται μέσω δυο υδραυλικών κυλίνδρων μια οριζόντια κοιλοδοκός 8Χ8 cm μήκους 1,30 m η οποία αποτελεί τη βάση ανάρτησης της συστοιχίας των διεισδυσιομέτρων. Οι υδραυλικοί κύλινδροι (με έμβολο Φ35) ισχυοδοτούνται από το υδραυλικό σύστημα του γεωργικού ελκυστήρα και δίνουν την δυνατότητα κατακόρυφης μετακίνησης στην οριζόντια δοκό για ένα μήκος διαδρομής 90 cm. Ο έλεγχος της διαδρομής (άνοδος ή κάθοδος) καθώς και της ταχύτητας κίνησης των κυλίνδρων μπορεί να γίνει από ένα υδραυλικό χειριστήριο που παρεμβάλλεται στο υδραυλικό κύκλωμα και προσαρμόζεται επάνω στο κυρίως πλαίσιο της συσκευής παρέχοντας τη δυνατότητα σε ένα χειριστή που βρίσκεται δίπλα στη συσκευή να ελέγχει άμεσα την λειτουργία. Η επιλογή της χρήσης δύο υδραυλικών κυλίνδρων αντί ενός, για την κατακόρυφη κίνηση της κοιλοδοκού έγινε με στόχο την αύξηση της ακαμψίας του συνόλου και την εξασφάλιση της οριζοντίωσης της δοκού.



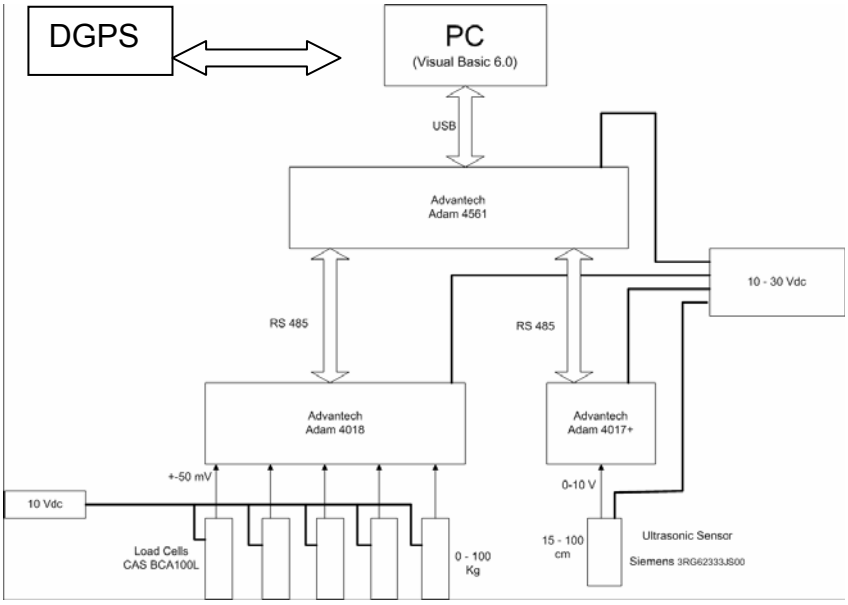
Σχήμα 1. Μηχανική διάταξη υδραυλικού διεισδυσιομέτρου

Κάθετα στην οριζόντια δοκό και σε κανονικές αποστάσεις 20 cm μεταξύ τους προσαρμόζονται πέντε χαλύβ-δινα στελέχη διαμέτρου 15 mm και μήκους 68 cm. Τα στελέχη φέρουν στο κατώτερο τους άκρο μεταλ-λικούς κώνους με διάμετρο βάσης 12,83 mm και γωνία 30° σύμφωνα με την τυποποίηση ASABE.[1] Η προσαρμογή των στελεχών στη δοκό γίνεται μέσω πέντε αντίστοιχων ηλεκτρονικών δυναμοκυψελών οι οποίες παρεμβάλλονται μεταξύ του στελέχους και της δοκού έχοντας την δυνατότητα να

μετρούν την τάση που αναπτύσσεται σε κάθε στέλεχος καθώς ο αντίστοιχος κώνος πιέζεται να εισέλθει στο έδαφος. Επιπλέον, στη θέση που συνδέονται τα στελέχη με τις δυναμοκυψέλες παρεμβά-λονται πύροι ασφαλείας οι οποίοι υπόκειται διάτμηση όταν η αντίσταση στην διείσδυση του στελέχους υπερβεί τα 1500 N.

2.2 Ηλεκτρονική διάταξη

Η ηλεκτρική ισχύς για την λειτουργία όλων των ηλεκτρονικών μερών της συσκευής παρέχεται από μια συσκευή Αδιάκοπης Παροχής Ισχύος (UPS) η οποία έχει υποστεί μετατροπή για να χρησιμοποιεί την ενέργεια του ηλεκτρικού συσσωρευτή του γεωργικού ελκυστήρα παρέχοντας με τον τρόπο αυτό απεριόριστη αυτονομία ισχύος. Η συσκευή UPS δίδει ένα εναλλασσόμενο ρεύμα τάσης 220 V το οποίο στη συνέχεια με ανάλογους μετασχηματιστές/ανορθωτές χρησιμοποιείται για την τροφοδότηση των υπόλοιπων ηλεκτρικών μερών.



Σχήμα 2. Διάγραμμα επικοινωνίας και τροφοδοσίας της διάταξης

Για την μέτρηση της δύναμης που απαιτείται για την διείσδυση των ράβδων στο έδαφος χρησιμοποιούνται πέντε δυναμοκυψέλες (Σχήματα 1 & 2). Χρησιμοποιήθηκε ο τύπος CAS BCA 100L που έχει την δυνατότητα να καταγράφει δυνάμεις εύρους 0-1000 N . Οι δυναμοκυψέλες τροφοδοτούνται με συνεχή τάση περίπου 12 V και δίνουν μια αναλογική έξοδο 0-50 mV. Η αναλογική έξοδος από τις δυναμοκυψέλες οδηγείται στο εξάρτημα Advantech Adam 4018 που είναι μια κάρτα (A/D) μετατροπής του αναλογικού σήματος σε ψηφιακό. Το εξάρτημα διαθέτει αναλογικά κανάλια εισόδου τα οποία μπορούν να ρυθμιστούν να δέχονται ±50 mV, τάση την οποία έχουν ως σήμα εξόδου οι δυναμοκυψέλες. Στην συνέχεια μετατρέπουν αυτό το σήμα σε πρωτόκολλο σειριακής επικοινωνίας RS 485.

Η μέτρηση του βάθους γίνεται με την βοήθεια ενός αισθητήρα υπερήχων (τύπος Siemens 3RG62333JS00 Ultrasonic sensor) ο οποίος βρίσκεται επάνω στην οριζόντιο δοκό Α (Σχήματα 1 & 2). Ο αισθητήρας χρησιμοποιεί υπέρηχους για να ανιχνεύσει την απόσταση του από το έδαφος και η ένδειξη αυτή χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό του βάθους διείσδυσης των κώνων. Τροφοδοτείται με σταθερή τάση 24V δίνοντας μια

τάση εξόδου 0-10V η οποία μεταβάλλεται ανάλογα με την απόσταση του αισθητήρα από το έδαφος. Η έξοδος οδηγείται σε μια δεύτερη κάρτα A/D (τύπος Advantech Adam 4017+) η οποία μετατρέπει το σήμα σε πρωτόκολλο σειριακής επικοινωνίας RS 485. Σε μια ξέχωρη θύρα εισόδου του εξαρτήματος Adam 4017+ οδηγείται επίσης η τάση τροφοδοσίας των δυναμοκυψελών. Το στοιχείο αυτό είναι απαραίτητο για την βαθμονόμηση των δυναμοκυψελών καθώς η τάση που δίνουν στην έξοδο είναι ανάλογη με την τάση τροφοδοσίας

Οι δυο A/D κάρτες (Adam 4017+ και Adam 4018) οδηγούνται στο εξάρτημα Advantech Adam 4561 το οποίο είναι ένας μετατροπέας δικτύου συσκευών που χρησιμοποιούν το πρωτόκολλο RS 485 σε επικοινωνία με πρωτόκολλο USB έτσι ώστε να συνδεθεί πολύ εύκολα με ένα ηλεκτρονικό υπολογιστή.

Τέλος, στο σύστημα μπορεί να προσαρμοστεί μια συσκευή DGPS ώστε σε κάθε καταχώρηση να καταγράφεται και το αντίστοιχο γεωγραφικό μήκος και πλάτος. Η συσκευή DGPS συνδέεται σε μία ξεχωριστή σειριακή θύρα του υπολογιστή για να αποφευχθεί σύγκρουση με τα δεδομένα των δυναμοκυψελών και του αισθητήρα βάθους. Τροφοδοτείται με 12 Vdc και εκπέμπει συνεχώς μία συμβολοσειρά δεδομένων με πρωτόκολλο επικοινωνίας RS 232 που αποτελείται από το γεωγραφικό μήκος, γεωγραφικό πλάτος, αριθμός συνδεδεμένων δορυφόρων και ύψος.

2.3 Λογισμικό

Στον ηλεκτρονικό υπολογιστή υλοποιείται ένα λογισμικό σε γλώσσα προγραμματισμού Visual Basic 6.0 με σκοπό την συλλογή και την διαχείριση των δεδομένων της διεργασίας. Το περιβάλλον επικοινωνίας του χρήστη με το λογισμικό υλοποιείται σε παραθυρική μορφή κάνοντάς το φιλικό και εύχρηστο

2.3.1 Ρυθμίσεις παραμέτρων

Όλες οι ρυθμίσεις των παραμέτρων του προγράμματος μπορούν να γίνουν μέσα από ένα αρχείο Config.ini. Οι παράμετροι που μπορούν να οριστούν είναι οι εξής:

Θύρα επικοινωνίας (Com Settings)

- Com: Σειριακή θύρα του υπολογιστή που συνδέεται το εξάρτημα Adam 4561
- Settings: Παράμετροι της σειριακής θύρας σύνδεσης, (baud rate, parity bit, data bits και stop bit)

Ρυθμίσεις GPS

- GExists: Καθορίζεται αν υπάρχει GPS ή όχι στο σύστημα
- GComPort: Η θύρα του υπολογιστή που είναι συνδεδεμένο το DGPS
- GSettings: Οι παράμετροι της σειριακής θύρας σύνδεσης του DGPS, (baud rate, parity bit, data bits και stop bit)

Ρυθμίσεις δειγματοληψίας (Sample)

- StoreTime: Ορίζεται το χρονικό διάστημα λήψης δειγμάτων
- Rate: Ορίζεται η συχνότητα δειγματοληψίας

Ρυθμίσεις αισθητήρα υπερήχων (ultrasonic)

- Port: Η θύρα της κάρτας 4017 που είναι συνδεδεμένος ο αισθητήρας υπερήχων για την μέτρηση του ύψους

Ρυθμίσεις της μέτρησης της τάσης τροφοδοσίας δυναμοκυψελών (voltage)

- Port: Η θύρα της κάρτας 4017 που μετρά την τάση τροφοδοσίας των δυναμοκυψέλων

Ρυθμίσεις δυναμοκυψελών (Loadcells)

- L1Port, L2Port,…. L5Port: Ορίζονται οι θύρες της κάρτας 4018 που συνδέονται οι δυναμοκυψέλες

Ρυθμίσεις της βάσης καταγραφής των δεδομένων (Data)

- path: Διαδρομή στην οποία βρίσκεται η βάση δεδομένων.

- file: Όνομα αρχείου βάσης δεδομένων
- table: Ο πίνακας της βάσης δεδομένων που αποθηκεύονται οι μετρήσεις
- index: Ορίζονται οι στήλες του πίνακα στις οποίες θα καταχωρηθούν οι τιμές των μεταβλητών του προγράμματος.

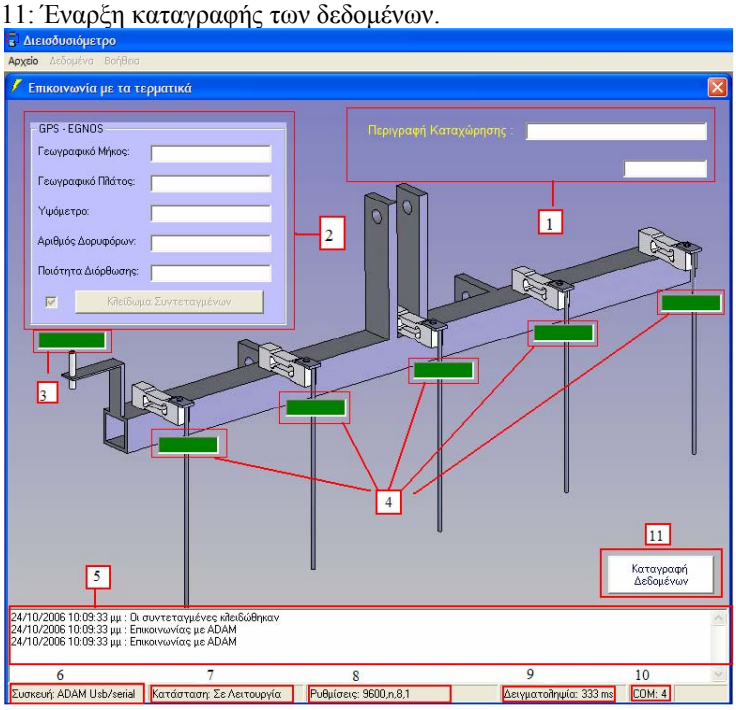
Ρυθμίσεις εκτύπωσης αναφοράς (Print)

- Header1Size, Header2Size, Header3Size: Γραμματοσειρά, μέγεθος και μορφή με την οποία θα τυπωθούνε η ημερομηνία και η ώρα, οι επικεφαλίδες των στηλών και τα περιεχόμενα του πίνακα.

2.3.2 Οθόνη επικοινωνίας

Κατά την έναρξη της εφαρμογής εμφανίζεται η οθόνη διεπαφής χρήστη συστήματος που έχει την μορφή του Σχήματος 3. Η οθόνη περιλαμβάνει τα εξής πεδία:

Πεδίο 1: Όνομα καταχώρισης των δεδομένων (δίδεται από τον χρήστη).
Πεδίο 2: Συντεταγμένες που λαμβάνονται από το GPS,
Πεδίο 3: Βάθος της διείσδυσης κάθε χρονική στιγμή.
Πεδίο 4: Τάση που ασκείται σε κάθε δυναμοκυψέλη.
Πεδίο 5: Χρονικό της διεργασίας κατά τη συλλογή δεδομένων.
Πεδίο 6: Τρόπος σύνδεσης του διεισδυσιομέτρου με τον υπολογιστή.
Πεδίο 7: Κατάσταση λειτουργίας του συστήματος.
Πεδίο 8: Ρυθμίσεις επικοινωνίας
Πεδίο 9: Χρονικό διάστημα της δειγματοληψίας.
Πεδίο 10: Θύρα επικοινωνίας συστήματος - υπολογιστή.
Πεδίο 11: Έναρξη καταγραφής των δεδομένων.

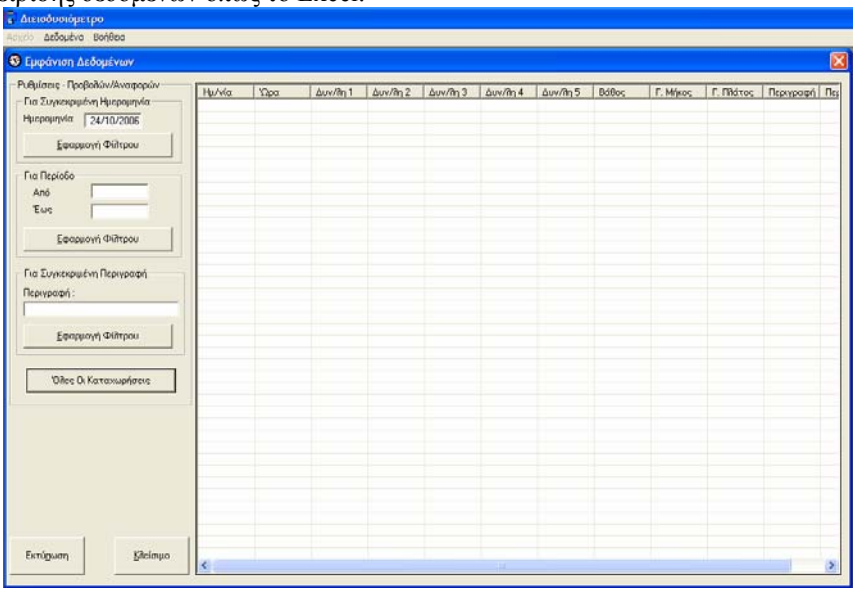


Σχήμα 3. Γραφική διαπροσωπεία ανάλυσης πεδίων

2.3.3.Εμφάνιση δεδομένων

Για την εμφάνιση των δεδομένων που λήφθηκαν από το σύστημα επιλέγεται η καρτέλα «δεδομένα» της οθόνης διεπαφής στο σχήμα 3. Η οθόνη διεπαφής μεταβαίνει

στη μορφή που παρουσιάζεται στο Σχήμα 4. Στο πλαίσιο που εμφανίζονται τα δεδομένα υπάρχουν στήλες που δείχνουν την ημερομηνία και την ώρα που έγινε η καταγραφή, τη δύναμη που ασκήθηκε στην κάθε δυναμοκυψέλη, το γεωγραφικό πλάτος και μήκος καθώς και τη περιγραφή της κάθε μέτρησης. Ο χρήστης μπορεί να χρησιμοποιήσει φίλτρα επιλογής δεδομένων (π.χ. ημερομηνία, περίοδος ή συγκεκριμένη περιγραφή με βάση κάποιο όνομα). Τέλος, επιλέγοντας την εντολή «Επεξεργασία δεδομένων» εμφανίζονται όλες οι καταχωρήσεις στην βάση δεδομένων και τα στοιχεία μπορούν να υποστούν επεξεργασία, προσθήκη, διαγραφή ή εξαγωγή σε ένα άλλο πρόγραμμα διαχείρισης δεδομένων όπως το Excel.



Σχήμα 4. Γραφική διαπροσωπεία εμφάνισης δεδομένων

2.3.4 Μετατροπή δεδομένων

Τα δεδομένα καταγράφονται στη βάση δεδομένων ως τιμές τάσης εξόδου των αισθητηρίων (mV για τις δυναμοκυψέλες και V για τον αισθητήρα υπερήχων). Για να αποκτήσουν την φυσική έννοια των μεταβλητών που προσμετρούν τα δεδομένα χρειάζονται μετατροπή. Για τις μεν δυναμοκυψέλες, η τάση εξόδου είναι ανάλογη με την τάση τροφοδοσίας. Σύμφωνα με τον κατασκευαστή, σε μέγιστο φορτίο 1000N, παράγονται 2mV ανά V τροφοδοσίας. Η τάση τροφοδοσίας έχει ρυθμιστεί στα 12 Vdc ωστόσο είναι ενδεχόμενο να παρουσιάσει μικρές διακυμάνσεις που οφείλονται σε αστάθεια του συστήματος. Για τη βαθμονόμηση των δεδομένων των δυναμοκυψελών χρησιμοποιείται η σχέση:

$$F = V_{out} \times \frac{1000}{2V_{in}}$$

Όπου: F= η δύναμη που μετρούν οι δυναμοκυψέλες (σε N)

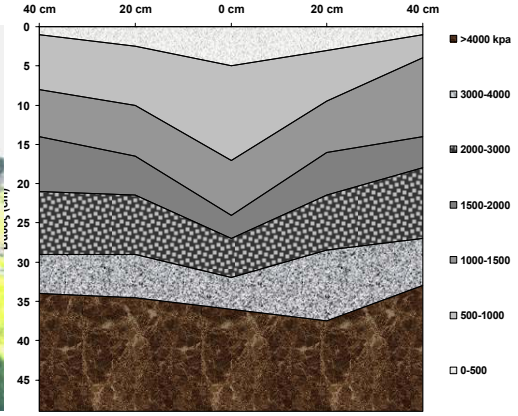
V_{in} = η τάση τροφοδοσίας των δυναμοκυψελών (σε mV)

V_{out} = η τάση εξόδου που καταγράφεται στην βάση δεδομένων (σε mV)

Ο αισθητήρας των υπερήχων διαθέτει ένα εύρος τροφοδοσίας (10-24 Vdc) παράγοντας μια τάση εξόδου 0-10 V η οποία είναι ανεξάρτητη από την τάση τροφοδοσίας. Διαθέτοντας ένα φάσμα ανίχνευσης απόστασης 0-100 cm προκύπτει ότι 1 V εξόδου αντιστοιχεί σε 10 cm.

3. ΔΟΚΙΜΕΣ

Η συσκευή δοκιμάστηκε σε πραγματικές συνθήκες παίρνοντας μετρήσεις σε ένα πειραματικό αγρό όπου υπήρχε μια μεταχείριση κατεργασίας του εδάφους σε λωρίδες (Σχήμα 5). Το χαρακτηριστικό αυτής της μορφής κατεργασίας ήταν ότι το έδαφος κατεργάστηκε σε στενές λωρίδες πλάτους 30 cm και σε βάθος μέχρι 25 cm που απείχαν μεταξύ τους 70 cm. (Στο κέντρο κάθε λωρίδας επρόκειτο να σπαρθεί βαμβάκι). Το διεισδυσιόμετρο τοποθετήθηκε κάθετα στις λωρίδες με τον μεσαίο κώνο να βρίσκεται στο κέντρο της λωρίδας. Με τον τρόπο αυτό λήφθηκαν μια σειρά από μετρήσεις ανιχνεύοντας μια κατακόρυφη κατατομή του εδάφους κάθετα στην κατεργασία. Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 6, η συσκευή κατάφερε να ανιχνεύσει την χαλάρωση του εδάφους που υπήρχε στην κεντρική ζώνη.



Σχήμα 5. Μετρήσεις στον αγρό Σχήμα 6. Αποτελέσματα μετρήσεων

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. ASABE 2002 Standard S313.2. Soil Cone penetrometer. American Society of Agricultural Engineers. St. Joseph Michigan.
2. Rooney, D.J. and B Lowery. 2000. A profile cone penetrometer for mapping soil horizons. Soil Science Society American Journal vol 64: 2136-2139
3. Tekin Y. and R. Okursoy. 2007. Development of a hydraylic-driven Soil Penetrometer for measuring soil compaction in field conditions. Journal of Applied Sciences 7 (6): 918-921

(196)

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΝΟΣ ΝΕΟΥ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΚΑΤΑΠΟΛΕΜΗΣΗ ΤΩΝ ΖΙΖΑΝΙΩΝ ΣΤΗ ΓΡΑΜΜΗ ΣΠΟΡΑΣ

Α. Π. Δεδούσης, R. J. Godwin
Cranfield University, Agricultural & Environmental Engineering Group, Cranfield, MK43 OAL, UK, e-mail: a.dedousis.s04@cranfield.ac.uk

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η εργασία αυτή παρουσιάζει τη μεθοδολογία για τον σχεδιασμό, κατασκευή και αξιολόγηση ενός νέου μηχανήματος για τη μηχανική καταπολέμηση των ζιζανίων στη γραμμή σποράς. Οι έρευνες προσομοίωσης καθώς επίσης και τα εργαστηριακά πειράματα χρησιμοποιήθηκαν προκειμένου να ορισθούν όλες οι μηχανολογικές και λειτουργικές απαιτήσεις καθώς επίσης και στο να ορισθούν οι βέλτιστες ρυθμίσεις εργασίας του μηχανήματος. Το μηχάνημα έχει τη δυνατότητα να αργαστεί σε ελάχιστες αποστάσεις μεταξύ των φυτών μέχρι 150 mm και με ταχύτητα 1 m s^{-1}. Το μηχάνημα μπορεί να εργαστεί σε γραμμές με μεταβαλλόμενη απόσταση μεταξύ των φυτών χρησιμοποιώντας κάμερες καθοδήγησης.

DESIGN CONSTRUCTION AND EVALUATION OF A NOVEL MACHINE FOR INTRA-ROW MECHANICAL WEED CONTROL

A. P. Dedousis, R. J. Godwin
Cranfield University, Agricultural & Environmental Engineering Group, Cranfield, MK43 OAL, UK, e-mail: a.dedousis.s04@cranfield.ac.uk

ABSTRACT

This paper presents the research methodology into the design and performance of a novel machine for intra-row mechanical weed control. The simulation and controlled laboratory studies aid the design and specification of the optimum working properties of the proposed machine. The system can work at minimum intra-row spacing of 150 mm at a 1 m s^{-1} forward speed. The machine can cope with the intra-row spacing variability using machine vision.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα τελευταία χρόνια υπάρχει αυξημένο ενδιαφέρον για τη μηχανική καταπολέμηση των ζιζανίων, λόγω της ανησυχίας για την περιβαλλοντική υποβάθμιση των εδαφών και υδάτων. Επίσης υπάρχει αυξημένη ζήτηση για οργανικά τρόφιμα απο τους καταναλωτές [1], [2], [3]. Τα ζιζάνια τα οποία βρίσκονται μεταξύ των γραμμών της καλλιέργειας μπορούν να καταπολεμηθούν με απλά εργαλεία τα οποία είναι διαθέσιμα λόγω της εύκολης πρόσβασης μεταξύ των σειρών της καλλιέργειας. Τα ζιζάνια που βρίσκοναι στη γραμμή σποράς είναι δύσκολο να καταπολεμηθούν με μηχανικό τρόπο λόγω του οτι βρίσκονται πολύ κοντά στα φυτά και υπάρχει κίνδυνος καταστροφής της καλλιέργειας.

Διάφορες έρευνες έχουν διεξαχθεί τη τελευταία δεκαετία προκειμένου να αναπτυχθεί ένα σύστημα για τη μηχανική καταπολέμηση των ζιζανίων στη γραμμή σποράς [4], [5], [6], [7], [8]. Σύμφωνα με τους Griepentrog et al., [6] οι κοινές αρχές αυτών των συστημάτων είναι, να καθοδηγήσουν ενεργά ή να ενεργοποιήσουν ένα εργαλείο στη γραμμή σποράς. Οι πληροφορίες για τη θέση του κάθε φυτού στη γραμμή σποράς μπορούν να προέλθουν από χρόνο αισθητήρες που λειτουργούν σε πραγματικό (real-time sensors) [9], [10], [11] ή σε μη απευθείας σύνδεση από τα στοιχεία GPS και τους χρόνους πτώσης σπόρου που καταγράφονται κατά τη διάρκεια της σποράς [12]. Ο μηχανισμός που εξετάζεται σε αυτή την εργασία και περιγράφεται από τους Dedousis et al., [13] και O'Dogherty et al., [14] αποτελείται απο έναν ειδικά σχεδιασμένο δίσκο του οποίου έχει αφεραιθεί ένας τομέας που περιστρέφεται γύρω από κατακόρυφο άξονα. Το κέντρο του δίσκου που περιστρέφεται κινείται σε μια απόσταση παράλληλα απο το κέντρο της γραμμής σποράς έτσι ώστε να καλλιεργεί το εδάφος μεταξύ των φυτών αλλά αφήνοντας αδιατάραχτα τα χρήσιμα φυτά μέσω του αφαιρεμένου τομέα του δίσκου. Επιπλέον, ο δίσκος καλλιεργεί το έδαφος μεταξύ των γραμμών σποράς με τη βοήθεια συμβατικών υνιών (Inter-row blades) [14].

Η εργασία αυτή παρουσιάζει έρευνες προσομοίωσης, εργαστηριακές μετρήσεις και πειράματα στον αγρό σχετικά με τον σχεδιασμό τη κατασκευή και την αξιολόγηση ενός νέου μηχανήματος για τη μηχανική καταπολέμηση των ζιζανίων στη γραμμή σποράς. Η επίδραση του βάθους εργασίας στις δυνάμεις έλξης και κατακόρυφες καθώς επίσης και στη ροπή αναλύθηκαν προκειμένου να προσδιοριστεί η κατάλληλη γεωμετρία και να οριστούν οι βέλτιστες ρυθμίσεις εργασίας για έναν δίσκο προκειμένου να καταπολεμήσει τα ζιζανία με μηχανικό τρόπο με τις χαμηλότερες απαιτήσεις σε ισχύ.

Πειράματα στον αγρό του προτότυπου μηχανήματος σε προιόντα υψηλής αξίας έδειξαν οτι τα επίπεδα ζημιάς στη καλλιέργεια εξαιτίας του μηχανήματος ήταν ελάχιστα, με μείωση των ζιζανίων στη γραμμή σποράς μέρχι 87%.

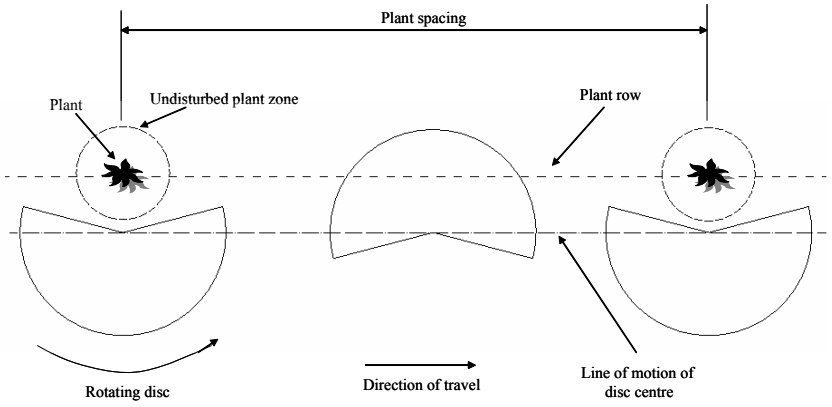
2. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΗΣ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑΣ ΤΟΥ ΔΙΣΚΟΥ

Ένας περιστρεφόμενος δίσκος που μπορεί να λειτουργήσει στην γραμμή σπόράς για να καταπολεμήσει τα ζιζάνια, τα καταστρέφει όχι μόνο με την κάλυψη τους με χώμα, αλλά και με την κοπή αυτών, ο όποιος είναι αποτελεσματικότερος αφού συνδιάζει δύο ενέργειες (burial with soil, cutting) καταπολέμησης [15], [16].

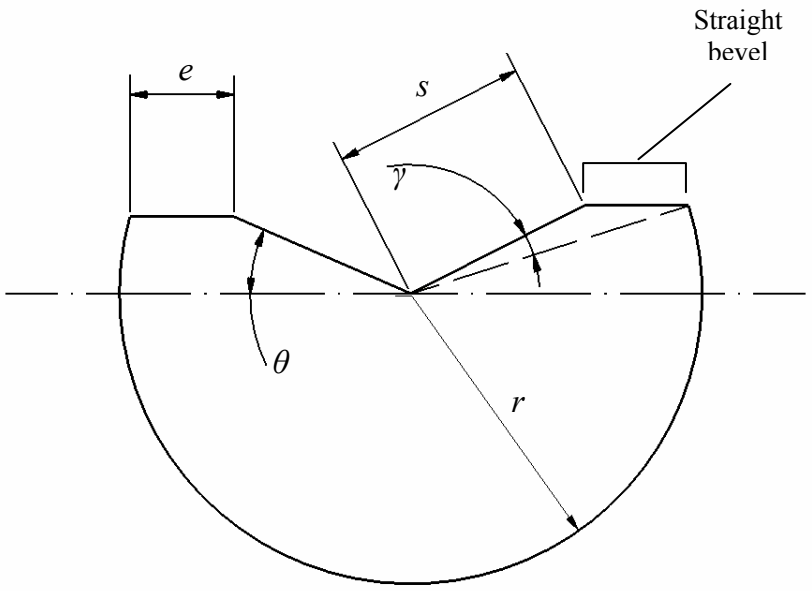
Η γεωμετρία των δίσκων είναι ένας συμβιβασμός μεταξύ της απαραίτητης μεγιστοποίησης της καλλιεργούμενης περιοχής και της επαρκούς ανοχής στην πλευρική και γωνιακή μη ευθυγράμμιση, η οποία εάν είναι ανεπαρκής, θα τραυματήσει τα φυτά στη γραμμή σποράς. Η ανοχή που απαιτείται εξαρτάται από τη δυναμική απόδοση του συστήματος συνολικά και τα χαρακτηριστικά ανάπτυξης των φυτών (growth habit) [11].

Η απόσταση μεταξύ των φυτών στη γραμμή σποράς ορίστικε στα 300 mm και η αδιατάραχτη διάμετρος (undisturbed zone) που περικλείει τα φυτά σε 80 mm (Σχήμα 1). Μια αρχική γωνία του αφαιρούμενου τομέα σχεδιάστηκε και έπειτα ο δίσκος

περιστράφηκε 36° μετά από 30 mm. Αυτό επαναλήφθηκε έως ότου περιστράφηκε ο δίσκος 360° σε 300 mm. Διάφοροι συνδυασμοί δίσκων ερευνήθηκαν προκειμένου να καθοριστεί η βέλτιστη γεωμετρία του δίσκου καθώς επίσης και απόσταση εργασίας αυτού απο τη γραμμή σποράς. Σε αυτήν την μελέτη η ανοχή του δίσκου λόγω πλευρικής και γωνιακής μη ευθυγράμμισης δεν λήφθηκε υπόψη. Οι δοκιμές από τον Tillett et al., [11] και Tillett and Hague [10] έδειξαν 10 mm και 10° πλευρική και γωνιακή μη ευθυγράμμιση αντίστοιχα.



Σχήμα 1. Εννοιολογικό διάγραμμα του περιστρεφόμενου δισκο-καλλιεργητή



Σχήμα 2. Γεωμετρικά στοιχεία του δίσκου (*r*: 87,5 mm, *e*: 34 mm, *s*: 54 mm, *γ*: 12°, *θ*: 25°)

Ένα μαθηματικό μοντέλο της κινηματικής των περιστρεφόμενων δίσκων αναπτύχθηκε από τους O'Dogherty et al., [14], το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως

εργαλείο υπολογισμού της κινηματικής διαφόρων εργαλείων όπως στο σχεδισμό περιστρεφόμενων δίσκων. Τα αποτελέσματα από τη γραφική προσομοίωση επιβεβαιώθηκαν από το μαθηματικό μοντέλο της κινηματικής των περιστρεφόμενων δίσκων. Οι διαστάσεις και η μορφή των δίσκων που χρησιμοποιήθηκαν και για τις δύο γεωμετρίες απεικονίζονται στα Σχήματα 2 και 3.

Ο χρόνος t σε s για το κέντρο του δίσκου να κινηθεί μεταξύ των κέντρων των φυτών σύμφωνα με τη γραμμή κίνησής του παράλληλα στη γραμμή σποράς δίνεται από:

$$t = \frac{d}{v} \tag{1}$$

όπου: d είναι η απόσταση σε m μεταξύ των κέντρων των φυτών και v είναι η ταχύτητα κίνησης των δίσκων σε m s^{-1}. Σε αυτήν την περίοδο, ο δίσκος πρέπει να διαγράψει μια πλήρη περιστροφή, έτσι η περιστροφική ταχύτητά της, R σε s^{-1} δίνεται από:

$$R = \frac{v}{d} \tag{2}$$

Η γωνιακή ταχύτητα ω σε rad s^{-1} του δίσκου, επομένως, είναι:

$$\omega = \frac{2\pi v}{d} \tag{3}$$

3. ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ ΣΤΗ ΕΔΑΦΟΔΥΝΑΜΙΚΗ ΤΩΝ ΔΙΣΚΩΝ

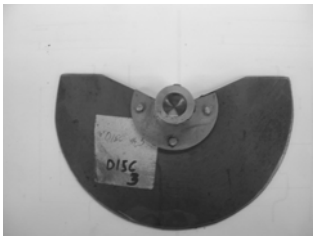
Ο τύπος και ο βαθμός της διατάραξης του εδάφους είναι ο πρωταρχικός παράγοντας κατά την επιλογή των εργαλείων κατεργασίας μαζί με τις απαιτήσεις της δύναμης έλξης και διείσδυσης (κατακόρυφες δυνάμεις) για την αποδοτική λειτουργία τους [17]. Η επίδραση του βάθους εργασίας, της γωνίας κλίσης και της γεωμετρίας των δίσκων στις δυνάμεις έλξης και διείσδυσης καθώς επίσης και της αστοχίας του εδάφους για επίπεδους και κυρτούς δίσκους (Σχήμα 3) αξιολογήθηκε στο εργαστήριο εδαφοδυναμικής του πανεπιστημίου Cranfield στο Silsoe. Τέσσερις γωνίες κλίσης (0°, 5°, 10° και 15°) εξετάστηκαν με ταχύτητα εργασίας, 0,5 m s^{-1} (1,8 km h^{-1}) και περιστροφική ταχύτητα 1,6 rev s^{-1} σε 10 mm βάθος εργασίας. Τέσσερα βάθη εργασίας (10 mm, 15 mm, 20 mm και 25 mm) εξετάστηκαν με ταχύτητα εργασίας 0,5 m s^{-1} και περιστροφική ταχύτητα 1,6 rev s^{-1} και 0° γωνία κλίσης εξετάστηκε κάτω απο ελεγχόμενες συνθήκες. Στην εργασία αυτή παρουσιάζεται ένα μέρος των αποτελεσμάτων της επίδρασης του βάθους εργασίας των δίσκων στις δυνάμεις έλξης και τις κατακόρυφες, καθώς επίσης και της ροπής.

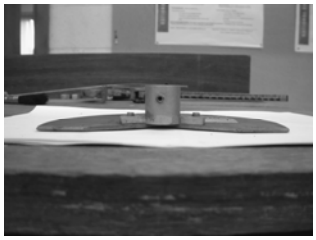
3.1. Εργαστηριακή πειραματική συσκευή εδαφοδυναμικής

Η εσωτερική εδαφο-λεκάνη του εργαστηρίου έχει 20 m μήκος, 1,7 m πλάτος και 1 m βάθος. Στο οπίσθιο τμήμα του επεξεργαστή (soil-bin processor) η πειραματική συσκευή είναι συνδεμένη με ένα δυναμόμετρο (Extended Octagonal Ring Transducer). Το δυναμόμετρο παρέχει πληροφορίες για τις οριζόντιες (draught force) και κατακόρυφες (vertical force) δυνάμεις που εφαρμόζονται στο δίσκο. Το έδαφος προετοιμάστηκε ανά στρώματα των 50 mm προκειμένου να επιτευχθεί ομοιομορφία και να περιοριστούν στο ελάχιστο παράγοντες που μπορούν να αλλιώσουν τα αποτελέσματα των μετρήσεων υπό ελεγχόμενες συνθήκες.

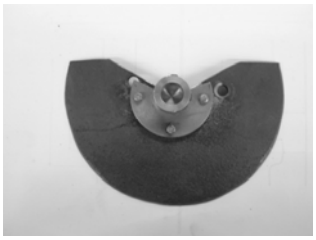
Ο τύπος του εδάφους που χρησιμοποιήθηκε ήταν αμμοιλυώδες με 66%, 17%, και 17% ποσοστό άμμου, ιλύος και αργίλου αντίστοιχα. Η μέση περιεκτικότητα της εδαφικής υγρασίας ήταν 8% με μια τυπική απόκλιση 0,79%. Το μέσο φαινόμενο ειδικό βάρος πριν από την επεξεργασία ήταν 1549 kg m^{-3} με μια τυπική απόκλιση 57,85 kg m^{-3}.

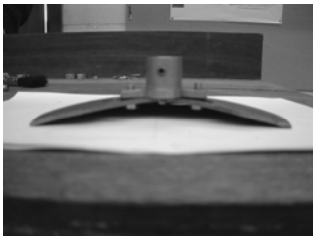
(α)





(β)





Σχήμα 3. Γεωμετρία δίσκων που αξιολογήθηκε στα ελεγχόμενα εργαστηριακά πειράματα, (α) επίπεδος δίσκος (β) κυρτός δίσκος

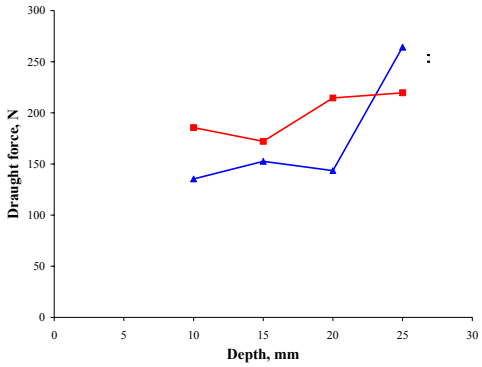
3.2. Η επίδραση του βάθους εργασίας των δίσκων στις ελκτικές και κατακόρυφες δυνάμεις

Το Σχήμα 4 παρουσιάζει την επίδραση του βάθους εργασίας στη δύναμη έλξης για έναν κυρτό και επίπεδο δίσκο που λειτουργεί σε τέσσερα βάθη, με γωνία κλίσης, 0°, ταχύτητα εργασίας 0,5 m s^{-1} και περιστροφική ταχύτητα 1,6 rev s^{-1}. Η δύναμη έλξης για τον κυρτό δίσκο είναι μεγαλύτερη από τον αντίστοιχο επίπεδο δίσκο για βάθη μέχρι 20 mm. Η δύναμη έλξης για τον επίπεδο δίσκο ήταν απο 135 N μέχρι 152 N και για τον κυρτό δίσκο ήταν απο 185 N μέχρι 214 N, για βάθη απο 10 mm μέχρι 20 mm. Σε 25 mm βάθος εργασίας υπάρχει μια σημαντική αύξηση και για τους δύο δίσκους με 264 N και 220 N για τον επίπεδο και κυρτό δίσκο αντίστοιχα. Η αύξηση στη δύναμη έλξης απο τα 20 mm στα 25 mm βάθους εργασίας για τον επίπεδο δίσκο δείχνει, ότι ο δίσκος λειτουργεί πιθανώς κάτω από το κρίσιμο βάθος (critical depth), το οποίο αφορά το πάχος του δίσκου (3 mm) σε σχέση με το βάθος εργασίας όπου η αστοχία του εδάφους πλησιάζει την bearing capacity failure επάνω, κάτω και στην άκρη των δίσκων που είναι σε γενικές γραμμές παρόμοια με αυτήν που περιγράφεται από τους Godwin and Spoor [18] για μικρού πλάτους καλλιεργητές (narrow tines). Αυτό το φαινόμενο αύξησε τη δύναμη έλξης κατά 84% από τα 20 mm στα 25 mm βάθους εργασίας για τον επίπεδο δίσκο.

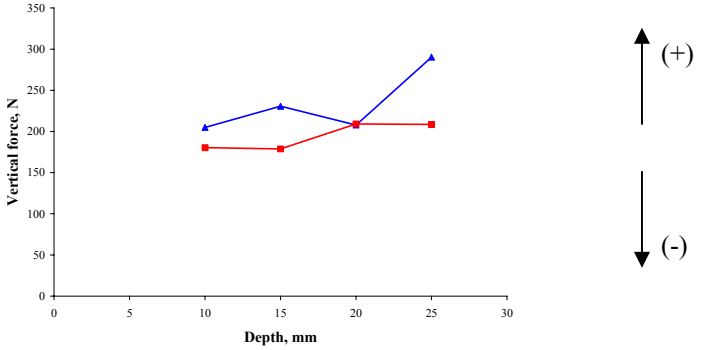
Η διεύθυνση της κατακόρυφης δύναμης ήταν ανοδική και αυξήθηκε με το βάθος εργασίας, τείνοντας κατά συνέπεια να ανυψώσει το δίσκο από το έδαφος (Σχήμα 5). Ο επίπεδος δίσκος απαίτησε από 205 N μέχρι 290 N για βάθη εργασίας από 10 έως 25 mm και ο αντίστοιος κυρτός δίσκος απαίτησε σημαντικά λιγότερο απο 180 N μέχρι 208 N.

Το Σχήμα 6 παρουσιάζει το μέγεθος της ροπής για τις δύο διαφορετικές γεωμετρίες δίσκων σε διάφορα βάθη εργασίας. Η μέση ροπή που απαιτείται για να περιστρέψει τον κυρτό δίσκο είναι 67% περισσότερη απ' ό,τι για τον επίπεδο δίσκο.

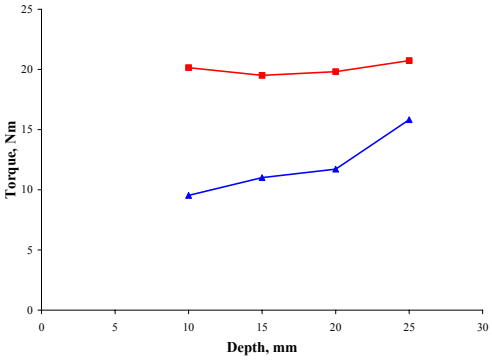
Η ροπή για τον κυρτό δίσκο είναι ομοιόμορφη για τη σειρά των βαθών που εξετάστηκαν με τη μέση τιμή της ροπής να είναι 20 Nm η οποία είναι σημαντικά διαφορετική απο τα 10 mm μέχρι τα 15 mm βάθους εργασίας. Σε βάθη απο 15 mm μέχρι 20 mm η ροπή δεν ήταν σημαντικά διαφορετική. Για τον επίπεδο δίσκο η ροπή αυξάνεται με το βάθος εγασίας από 9,5 Nm σε 15,8 Nm, για βάθη εγασίας απο 10 mm μέχρι 25 mm.



Σχήμα 4. Η επίδραση του βάθους εργασίας του επίπεδου (▲) και κυρτού (■)δίσκου στη μέση τιμή της δύναμης έλξης



Σχήμα 5. Η επίδραση του βάθους εργασίας του επίπεδου (▲) και κυρτού (■)δίσκου στη μέση τιμή της κάθετης δύναμης



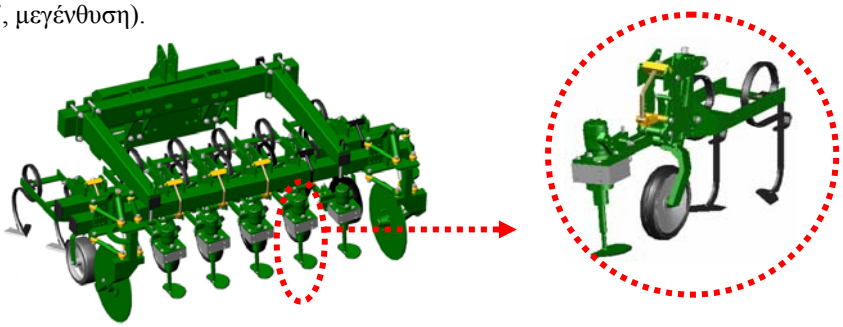
Σχήμα 6. Η επίδραση του βάθους εργασίας του επίπεδου (▲) και κυρτού (■)δίσκου στη μέση τιμή της ροπής

4. ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ ΣΤΟΝ ΑΓΡΟ ΤΟΥ ΠΡΟΤΟΤΥΠΟΥ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΟΣ

4.1. Γενική περιγραφή του μηχανήματος

Το προτότυπο μηχάνημα κατασκευάστηκε απο την εταιρεία Garford Farm Machinery, UK με βάση το υπάρχον μηχάνημα της εταιρείας, Robocrop για καταπολέμηση των ζιζανίων μεταξύ των γραμμών σποράς. Η κάμερα καθοδήσης

τοποθετήθηκε στο μέσο του μηχανήματος σε μια απόσταση 1,7 m απο την επιφάνεια του εδάφους, με μέγιστη εμπρόσθια ορατότητα 2,5 m. Οι περιστρφόμενοι δισκοκαλλιεργητές (Σχήμα 7) τοποθετήθηκαν σε ειδική κατασκευή που αποτελείται απο τον κινητήρα, τον τροχό ρύθμισης του βάθους εργασίας καθώς επίσης και τους καλλιεργητές για καταπολέμηση των ζιζανίων ανάμεσα απο τις γραμμές σποράς (Σχήμα 7, μεγένθυση).



Σχήμα 7. 3D Σχέδιο του προτότυπου μηχανήματος πέντε σειρών και μεγένθυση ενός μόνο στοιχείου με το δίσκο και τους καλλιεργητές

4.2. Γενική περιγραφή του συστήματος καθοδήγησης

Η θέση των φυτών και της φάσης προσέγγισής τους σχετικά με τον περιστρεφόμενο δίσκο ανιχνεύθηκε χρησιμοποιώντας κάμερες καθοδήγησης. Ο αλγόριθμος εντοπισμού των φυτών αναπτύχθηκε από την εταιρεία Tillett & Hague Technology Ltd που συμμετείχαν στο ερευνητικό πρόγραμμα HortLink που χρηματοδοτήθηκε από το Υπουργείο Περιβάλλοντος Τροφίμων και Αγροτικών Υποθέσεων (DEFRA, UK) της Αγγλίας (κωδικός προγράμματος: HL0173LFV). Ο αλγόριθμος εντοπισμού των φυτών είναι βασισμένος σε μύκη κύματος δύο διαστάσεων και παρέχει χωροταξικές πληροφορίες για τη θέση κάθε φυτού ξεχωριστά. Η τοποθέτηση του φίλτρου ανίχνευσης (Mexican hat) βασίζεται στις προβλέψιμες θέσεις των φυτών χρησιμοποιώντας ένα φίλτρο Κάλμαν. Το λογισμικό έχει δοκιμαστεί με επιτυχία σε πειράματα στο αγρό σε μια σειρά αποστάσεων μεταξύ των φυτών στη γραμμή σποράς καθώς επίσης και σε διαφορετικά στάδια ανάπτυξης αυτών. Προκαταρτικά αποτελέσματα σχετικά με τη ανάπτυξη του λογισμικού ανάφερονται απο τους Tillett et al., [11].

4.3. Αποτελέσματα

Τα προκαταρκτικά αποτελέσματα απο τη δοκιμή του μηχανήματος σε λαχανικά με αποστάσεις μεταξύ των φυτών 500 mm έδειξαν οτι η κάλυψη της περιοχής ανάμεσα στα φυτά ήταν 95% και η καταστροφή των ζιζανίων που επιτευχθηκε με μια μόνο μεταχείριση ήταν 87%.

Σχήμα 8. Φωτογραφία πριν και δύο εβδομάδες μετά τη χρησιμοποίηση του περιστρεφόμενου δισκοκαλλιεργητή απο τα πειράματα στον αγρό (Σεπτέμβριος 2006)

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ένα νέο μηχάνημα για την καταπολέμηση των ζιζανίων στη γραμμή σποράς σχεδιάστηκε, κατασκευάστηκε και αξιολογήθηκε σε μια σειρά πειραμάτων στο εργαστήριο και τον αγρό. Τα ακόλουθα συμπεράσματα προέκυψαν από την εργασία:

1. Η γωνία κλίσης εργασίας του δίσκου σε σχέση με το έδαφος (rake angle) και η γεωμετρία των δίσκων έχουν σημαντική επίδραση στις δυνάμεις έλξης και κατακόρυφες καθής επίσης και στο μέγεθος και μορφή της αστοχίας (διάτμησης) του εδάφους (resulting tilth).

2. Μια μικρή αύξηση στη γωνία κλίσης του δίσκου μειώνει σημαντικά το μέγεθος των ασκούμενων δυνάμεων.

4. Το μηχάνημα μπορεί να επιτύχει μια μείωση ζιζανίων στη γραμμή σποράς μέχρι 87%.

5. Όσο αυξάνεται η απόσταση μεταξύ των φυτών στη γραμμή σποράς, αυξάνεται η επι τις εκατό επεξεργασμένη επιφάνεια, απο 83% σε 95% για αποστάσεις μεταξύ των φυτών απο 200 mm μέχρι 500 mm.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Fogelberg F; Kritz G (1999). Intra-row weeding with brushes on vertical axes-factors influencing in-row soil height. *Soil and Tillage Research*, 50 (2), 149-157,
2. Bond, W., Grundy, A. C. 2001. Non-chemical weed management in organic farming systems. *Weed Research*, 41 (5), 383-405.
3. Dedousis, A. P. & Godwin, R. J. 2005. Precision mechanical weed control. In: Proceedings of the 13th European Weed Research Society Symposium, Bari, Italy.
4. Kouwenhoven J K (1997). Intra-row mechanical weed control-possibilities and problems. Soil and Tillage Research, 41, 87-104
5. Home M (2003). An investigation into the design of cultivation systems for inter- and intra-row weed control. EngD Thesis, Cranfield University, Silsoe, United Kingdom
6. Griepentrog, H. W., Norremark, M., Nielsen, J. 2006. Autonomous intra-row rotor weeding based on GPS. In Proceedings of the Agricultural Engineering World Congress, Bonn, Germany.
7. Dedousis, A. P., Godwin, R. J., O'Dogherty, M. J., Tillett, N. D. & Brighton, J. L. 2006a. Effect of implement geometry and inclination angle on soil failure and forces acting on a shallow rotating disc for inter and intra-row hoeing. In: Advances in GeoEcology, Soil Management for Sustainability, Vol 38, 15-20.
8. Dedousis A.P., O'Dogherty M J., Godwin R J, Tillett N.D. & Brighton J.L. 2006b. A novel approach to precision mechanical weed control with a rotating disc for inter and intra-row weed hoeing. In: Proceedings of the 17th Triennial Conference of the International Soil Tillage Research Organisation , Kiel, Germany.
9. Aastrand B; Baerveldt A J (2005). A vision based row-following system for agricultural field machinery. *Mechatronics*, 15 (2), 251-269
10. Tillett, N. D. and Hague, T. 2006. Increasing work rate in vision guided precision banded operations. *Biosystems Engineering* 94 (4), 487-494.
11. Tillett, N. D., Hague, T., Grundy, A., and Dedousis, A. P. 2007. A vision guided system using rotating discs for within-row mechanical weed control. Proceedings of the 6th European Conference in Precision Agriculture, Skiathos, Greece.
12. Griepentrog, H. W., Norremark, M., Nielsen, J., Blackmore, B. S. 2005. Seed mapping of sugar beet. *Precision Agriculture*, 6 (2), 157-165.

13. Dedousis, A. P., Godwin, R.J., O'Dogherty, M .J., Tillett N.D., & Grundy, A. C. 2007. Inter and intra-row mechanical weed control with rotating discs. Proceedings of the 6th European Conference in Precision Agriculture, Skiathos, Greece.
14. O'Dogherty M J; Godwin R J; Dedousis A P; Brighton J L; Tillett N D (2007). A mathematical model of the kinematics of a rotating disc for inter- and intra-row hoeing. *Biosystems Engineering*, 96 (2), 169-179,
15. Jones P A; Blair A M; Orson J H (1995). The effect of different types of psysical damage to four weed species. In: Brighton crop protection conference-weeds, 653-658, Brighton, UK
16. Jones P A; Blair A M; Orson J H (1996). Mechanical damage to kill weeds. In: Second international weed control congress, 949-954, Copenhagen, Denmark
17. Godwin R J (2007). A review of the effect of implement geometry on soil failure and implement forces. *Soil and Tillage Research*, (in press)
18. Godwin R. & Spoor G. (1977) Soil failure with narrow tines. *Journal of Agricultural Engineering Research,* 22, 213-228.

(228)

Η ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑ ΤΩΝ ΓΕΩΡΓΙΚΩΝ ΕΛΚΥΣΤΗΡΩΝ ΚΑΙ Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΣΤΗΝ ΑΠΟΔΟΣΗ ΤΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ

Α. Νάτσης [1] , Θ. Γέμτος [2] ,Ε. Μυγδάκος[3], Η. Νάτσης[4]
[1]ΓΠΑ, Ιερά Οδός 75 , ΤΚ 11855 Βοτανικό Αθήνα, e-mail: lmac2naa@aua.gr
[2] Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Γεωπονίας, Βόλος
[3] Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων, Τμήμα Διοίκησης Επιχειρήσεων Αγροτικών Προϊόντων και Τροφίμων, Αγρίνιο, e-mail: emygdak@cc.uoi.gr
[4] Εταιρία NEW HOLLAND Αθήνα : ΟΡΦΕΩΣ 113, ΡΟΥΦ, ΤΚ 11855

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η έγκαιρη εκτέλεση των εργασιών από τα γεωργικά μηχανήματα επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες και κυρίως από τις διαθέσιμες ημέρες εργασίας, το μέγεθος και η δυναμικότητα των μηχανημάτων αλλά και η αξιοπιστία τους Η γνώση της αξιοπιστίας ενός μηχανήματος έχει μεγάλη σημασία διότι δίνει τη δυνατότητα προσδιορισμού αφενός μεν των αναγκών σε ανταλλακτικά εξαρτήματα σε είδος και ποσότητα και αφετέρου του υπολογισμού των απωλειών των ωρών εργασίας των μηχανημάτων αλλά και των προϊόντων σε ποσότητα και αξία Η παρούσα εργασία διερευνά την αξιοπιστία των ελκυστήρων τύπου FORD 6600-6610 για τις Ελληνικές συνθήκες. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι οι απώλειες από τις καθυστερήσεις λόγω βλαβών ανέρχονται σε 12 ώρες ετησίως, ενώ οι απώλειες παραγωγής μπορούν να φτάνουν το 4% από καθυστερήσεις εκτέλεσης εργασιών.

FARM TRACTOR RELIABILITY AND EFFECT IN CROP YIELD

A. Natsis [1] , T.A. Gemtos [2] ,E. Mygdakos[3], H. Natsis ς[4]
[1]Agricultural University of Athens, Iera Street 75 , 11855 Votanikos Athenas.
[2] University of Thessaly, Dept of Asgriculture, Volos e-mail: gemots@agr.uth.gr
[3] University of Ioannina, Dept of Management of Companies of Agricultural products and Food, Agrinio, e-mail: emygdak@cc.uoi.gr
[4] NEW HOLLAND Co. Ahtens, Orfeos 113, 11855, Rouf

ABSTRACT

Timely execution of farm works by farm machinery is affected by factors as working days, size of the machinery as well as their reliability. Farm machinery reliability is important because it permits the estimation of the spare parts requirements by the dealers and the working hours losses by the farmer. The present paper aims at the study of the reliability of the farm tractors FORD 6600 –6610 under Greek conditions The results showed that 12 hours per year are lost due to tractors break downs (timeliness cost) . This time loss can cause a 4% yield losses due to delayed execution of field works.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Αξιοπιστία είναι η πιθανότητα με την οποία ένα μηχανικό στοιχείο ή ένα σύνολο μηχανικών στοιχείων ηλικίας (Τ) θα λειτουργήσει για μια χρονική περίοδο (t) σύμφωνα με τις υπάρχουσες προδιαγραφές και κάτω από τις συνθήκες που επικρατούν στην συγκεκριμένη περιοχή. Η συνεχής παρακολούθηση της αξιοπιστίας των μηχανικών μονάδων και των στοιχείων που απαρτίζουν το μηχανικό σύστημα, είναι απαραίτητη, διότι επηρεάζει τη λειτουργία ολόκληρου του συστήματος και επιδρά στην ανταπόκριση του συστήμος στις απαιτήσεις της εκτελούμενης εργασίας. Οι βασικοί παράγοντες που επηρεάζουν την αξιοπιστία ενός μηχανικού συστήματος είναι

1. Η ποιότητα σχεδίασης και κατασκευής των εξαρτημάτων
2. Η συντήρηση και ρύθμιση των μηχανισμών του.
3. Η κόπωση υλικών κατασκευής τους.
4. Ο τρόπος και η ορθολογική χρήση του συστήματος.
5. Η διάρκεια και οι συνθήκες λειτουργίας του
6. Το είδος εργασίας κ.α.

Ως αστοχία χαρακτηρίζεται η αδυναμία συνέχισης της λειτουργίας ενός μηχανήματος μέχρι το τέλος κάποιας χρονικής περιόδου, λόγω βλάβης κάποιου στοιχείου αυτού. Η αστοχία των μηχανικών συστημάτων επιδρά άμεσα στην απόδοση και την εκτέλεση των εργασιών στο συγκεκριμένο χρόνο, όπως για παράδειγμα, η μη έγκαιρη εκτέλεση των εργασιών, η απώλεια της παραγωγής, η υποβάθμιση της ποιότητας κ.λ.π. Βεβαίως η απόδοση ενός μηχανήματος επηρεάζεται και από το μέγεθος του, τις κατάλληλες ημέρες εργασίας, την ταχύτητα εργασίας, την ικανότητα του χειριστή κ.λ.π.

Η συνάρτηση F(t) της πιθανότητας αστοχίας (βλάβης) των μηχανικών συστημάτων μπορεί να έχει διάφορες μορφές κατανομών. Ο Δρακάτος [4], θεωρεί το μηχανικό σύστημα (ελκυστήρα) ως ένα πλήρης σύστημα που αποτελείται από πολλά στοιχεία, καθένα από τα οποία έχει ανεξάρτητους χρόνους ανάμεσα σε δύο βλάβες. Ο ίδιος ερευνητής απέδειξε ότι η εκθετική κατανομή δίνει καλύτερα αποτελέσματα, για τον υπολογισμό της αξιοπιστίας του μηχανικού συστήματος. Ένα σύστημα δεν λειτουργεί όταν υπάρχει βλάβη ακόμα και ενός στοιχείου, οπότε η ακολουθία των βλαβών του στο χρόνο είναι απλά η ακολουθία όλων των βλαβών των ατομικών στοιχείων. Το χαρακτηριστικό της εκθετικής κατανομής είναι ο ανεξάρτητος χρόνος αστοχιών για κάθε εξάρτημα, γι' αυτό και οι αστοχίες αυτές, καλούνται και «τυχαίες» αστοχίες και περιγράφονται πλήρης από την εκθετική κατανομή.

Θεωρητικό μοντέλο της εκθετικής κατανομής

Από θεωρητικής πλευράς η εκθετική κατανομή περιγράφεται με την παρακάτω εξίσωση καλούμενη και συνάρτηση αξιοπιστίας η συνάρτηση επιβίωσης [1]

$$R(t) = e^{-\lambda t} \tag{1}$$

όπου:
R (t) – συνάρτηση αξιοπιστίας (reliability fanction)
t – χρονική περίοδος
λ – σταθερός όρος
e – βάση φυσικών λογάριθμων.

Η συνάρτηση αστοχίας στον αντίστοιχο χρόνο δίνεται από τον τύπο:

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t} \tag{2}$$

και η συνάρτηση πυκνότητας αστοχίας (density fanction) δίνεται από την εξίσωση:

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \tag{3}$$

Γενικά για ένα μηχανικό σύστημα ισχύ η σχέση

$$R + F = 1 \tag{4}$$

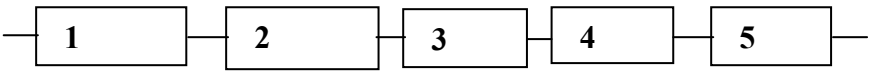
Για τα γεωργικά μηχανήματα και τους ελκυστήρες, από όλες τις συναρτήσεις κατανομής που χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό της αξιοπιστίας, καλύτερα αποτελέσματα δίνει η συνάρτηση εκθετικής κατανομής. [2,3,4,5]

Ο προσδιορισμός της αξιοπιστίας ενός μηχανήματος είναι μία δύσκολη διεργασία, διότι απαιτούνται πολυδιάστατα σύνολα εμπιστοσύνης για να καθοριστούν τα όρια της αξιοπιστίας του συστήματος. Αλλιώς, είτε το διάστημα της αξιοπιστίας γίνεται υπερβολικά ευρύ, είτε ο συντελεστής εμπιστοσύνης γίνεται πολύ μικρός. Η ελαχιστοποίηση των αστοχιών (βλαβών) έχει σαν αποτέλεσμα την αποδοτικότερη λειτουργία των μηχανημάτων. Η λειτουργία όμως των μηχανημάτων προκειμένου να επιτυγχάνεται η άριστη απόδοση τους είναι άμεσα συνδεδεμένη με πολλές μεταβλητές. Η «στενή» σχέση μεταξύ ελαχιστοποίησης και συχνότητας των αστοχιών, η αύξηση της αξιοπιστίας και της διάρκειας χρόνου λειτουργίας ενός συστήματος, η απόδοση και η ποιότητα συντήρησης μαζί με το κόστος παραγωγής δημιουργούν δυσχέρειες στην ερευνητική προσέγγιση λόγω πολλαπλών μεταβλητών και κατά συνέπεια μείωση του βαθμού εμπιστοσύνης των αποτελεσμάτων. Γενικά η αύξηση της αξιοπιστίας συνδέεται με την αύξηση του κόστους επένδυσης, όταν για την αύξηση αυτή απαιτούνται περισσότερα στοιχεία ή στοιχεία ανώτερης ποιότητας. Επομένως η επιλογή της βέλτιστης λύσης θα είναι το αποτέλεσμα της αλληλοεπίδρασης των συναρτήσεων αξιοπιστίας και κόστους επισκευών

Ο εντοπισμός των βλαβών των συγκεκριμένων εξαρτημάτων, στο γενικό σχήμα που θα χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό της αξιοπιστίας του ελκυστήρα έχει μεγάλη σημασία και απαιτεί καλή γνώση της λειτουργίας του συστήματος. Τα αποτελέσματα αλλάζουν όταν τα στοιχεία παρουσιάζονται στη σειρά, παράλληλα η όταν παρουσιάζονται στη σειρά και παράλληλα μαζί.(Σχήμα.1,2).

Για τον τρόπο υπολογισμού της αξιοπιστίας των τροχοφόρων μηχανών, χρησιμοποιούνται τα σχήματα τα οποία παρουσιάζονται στα Σχήματα.1 και 2. Η τοποθέτηση των στοιχείων που αστοχούν στα σχήματα αυτά μας δίνει τις εκδοχές υπολογισμού της αξιοπιστίας για κάθε περίπτωση.

α) Τοποθέτηση σε σειρά των στοιχείων ενός συστήματος (Σχήμα.1)



Σχήμα.1. Τοποθέτηση των στοιχείων σε σειρά . 1. πρόσθια γέφυρα. 2. κινητήρας. 3.συμπλέκτης. 4. κιβώτιο ταχυτήτων. 5. οπίσθια γέφυρα.

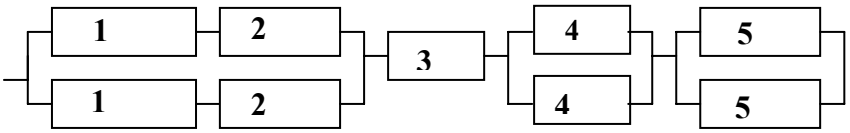
Στην περίπτωση τοποθέτησης σε σειρά των στοιχείων η συνάρτηση αξιοπιστίας δίνεται από την παρακάτω εξίσωση. [6]

$$R_{\Sigma} = R_1 R_2 R_3 R_4 R_5 \tag{5}$$

Στην περίπτωση αυτή, για τα συγκεκριμένα στοιχεία, εφαρμόζοντας την εξίσωση $R_i = e^{-\lambda_i}$ για κάθε στοιχείο, προσδιορίζεται η συνολική αξιοπιστία του συστήματος με την παρακάτω εξίσωση [1]

$$R_\Sigma = e^{-\lambda_\Sigma} = e^{-(\lambda_1+\lambda_2+...\lambda_N)} \quad (6)$$

β) Παράλληλη τοποθέτηση των στοιχείων ενός συστήματος (Σχήμα.2)



Σχήμα.2. Παράλληλη τοποθέτηση στοιχείων.1 πρόσθια γέφυρα. 2. οπίσθια γέφυρα. 3. κιβώτιο ταχυτήτων. 4. συμπλέκτης. 5. κινητήρας.

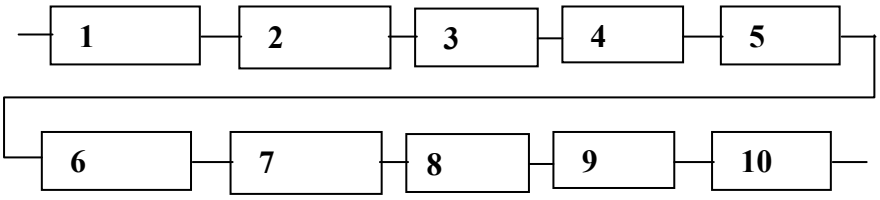
Στην περίπτωση της παράλληλης τοποθέτησης η συνάρτηση της αξιοπιστίας δίνεται από την παρακάτω σχέση [1, 6]:

$$R_\Sigma = \left[1-\left(1-R_5R_4\right)\left(1-R_5^{'}R_4^{'}\right)\right]R_3\left[1-\left(1-R_2R_1\right)\left(1-R_2^{'}R_1^{'}\right)\right] \quad (7)$$

Η παράλληλη τοποθέτηση στοιχείων που παρουσιάζουμε είναι καθαρά θεωρητική και ερευνητική εκδοχή, τουλάχιστον για την γεωργική μηχανολογία προς το παρόν, και έχει πρακτική χρήση στον ηλεκτρονικό εξοπλισμό, στις αερομεταφορές και σε λοιπά άλλα συστήματα που απαιτείται ύψιστη σταθερότητα των συστημάτων αυτών [6].

Σκοπός της παρούσας μελέτης είναι η διερεύνηση της σχέσης ανάμεσα στην αξιοπιστία των μηχανημάτων και στις καθυστερήσεις εκτέλεσης των εργασιών, σε συγκεκριμένη χρονική περίοδο, καθώς και η τελική επίπτωση την απώλεια της παραγωγής.

Για τα τροχοφόρα οχήματα (και συγκεκριμένα για τον ελκυστήρα) και για δέκα (τυχαία) εξαρτήματα που ερευνήθηκαν, βασίζοντας στα Σχήματα..1,2, προκύπτει το Σχήμα.3 που θα χρησιμοποιηθεί στον υπολογισμό της αξιοπιστίας για την συγκεκριμένη περίπτωση όπου στην πραγματικότητα είναι ένα σχήμα τοποθέτησης στοιχείων εν σειρά.



Εικ.2. Τοποθέτηση των δέκα εξαρτημάτων στο σχήμα του τροχοφόρου οχήματος που ερευνήθηκε. Οι αριθμοί όπως στον Πίνακα 1.

Η αξιοπιστία για τη συγκεκριμένη σύνδεση υπολογίζεται με την παρακάτω εξίσωση :

$$R_\Sigma = R_1 \times R_2 \times R_3 \times .....R_{10} = 0{,}9044 \quad (8)$$

Στην πιο επάνω εξίσωση με $R_{1,2,...1}$, είναι η αξιοπιστία κάθε στοιχείου ξεχωριστά (Πίνακα.3)

3. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Όπως προαναφέρθηκε η έρευνα αυτή αφορά στη διερεύνηση της αξιοπιστίας του ελκυστήρα στη διάρκεια ενός χρόνου (η έρευνα έγινε για ελκυστήρες FORD- 6600-6610). Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για τους υπολογισμούς παρουσιάζονται στο Πίνακα.1. και αναφέρονται στο έτος 2000. Τα στοιχεία αυτά ελήφθησαν σε συνεργασία με την εταιρία NEW HOLLAND στην Ελλάδα για 100 ελκυστήρες και για 500 ώρες εργασίας το χρόνο για κάθε ελκυστήρα [7]. Η έρευνα αφορούσε 10 τυχαία εξαρτήματα με τη μεγαλύτερη συχνότητα αστοχίας και τα αποτελέσματα αυτά παρουσιάζονται στον Πίνακα 1.

Στον πίνακα 1 παρουσιάζεται ο αριθμός βλαβών για κάθε είδος εξαρτήματος που ερευνήθηκε για τους 100 ελκυστήρες και για 500 ώρες εργασίας για κάθε ελκυστήρα, δηλαδή συνολικά για 50000 ώρες εργασίας. Όπως φαίνατε στον Πίνακα.1, στην διάρκεια των 50000 ωρών εργασίας συνέβησαν 404 βλάβες και ο μέσος χρόνος μεταξύ δύο βλαβών για όλα τα είδη των εξαρτημάτων και για τους 100 ελκυστήρες ήταν 136,05 ώρες, αυτό σημαίνει ότι για κάθε 136,05 ώρες σε όλη την διάρκεια των 50000 ωρών, συμβαίνει μία βλάβη σε κάποιο από τους 100 ελκυστήρες

Στον Πίνακα.1 παρουσιάζεται επίσης και ο μέσος όρος του λόγος αστοχίας ($\lambda_{μο}$) ανά ώρα για κάθε στοιχείο ξεχωριστά που αντιστοιχεί στις βλάβες που συμβαίνουν ανά ώρα για τις 50000 ώρες εργασίας συνολικά. Παρουσιάζεται, επίσης, και ο μέσος χρόνος μεταξύ δύο βλαβών που συμβαίνουν μία μετά την άλλη (MTBF) για κάθε στοιχείο και για 50000 ώρες εργασίας του πληθυσμού (δηλαδή 100 ελκυστήρων). Ακόμη, στον Πίνακα.1 δίνεται και ο αριθμός βλαβών για κάθε στοιχείο (N_f) στην διάρκεια των 50000 ωρών.

Πίνακας 1.Αριθμός βλαβών και μέσος χρόνος μεταξύ βλαβών

Α/Α	Όνομα κομβίου (ανταλαχτικού)	Λόγος αστοχίας $\lambda_{μ.ο.}$, ανά ώρα εργασία.	Τιμή C_i σε εύρω	Αριθμός βλαβών στοιχ. N_f	Μέσος χρόνος μεταξύ βλαβών (h) MTBF*
1	Αντλία υδραυλικού	0,00018	362	9	5555,6
2.	Φωλιά PTO	0,0006	29,3	30	1666,6
3.	Σφικτήρας PTO	0,00084	26	42	1190,5
4.	Ακρόμπαρο πρεσαριστώ	0,00102	33,84	51	980,4
5.	Ρουλεμάν τροχού	0,00011	29,16	55	909,1
6.	Ελατήρια (εμβόλου)	0,0005	37,4	25 σετ	2000
7.	Φλάντζα κεφαλής	0,00054	33,14	27	1851,8
8.	Δίσκος συμπλέκτη	0,00058	122,8	29	1724,2
9.	Αντλία πετρελαίου (επισκευή)	0,0006	721,4	30	1666,6
10	Φίλτρα Αέρος	0,00205	35	106	471,7
		0,00735		404	136,05

Ο μέσος χρόνος μεταξύ βλαβών, για κάθε στοιχείο, βρίσκεται με την εξίσωση που ακολουθεί:

$$MTBF = \frac{ολικος χρόνος λειτουργίας του πληθυσμού}{αριθμός βλαβών που συμβαίνουν}$$

Οι βλάβες κατανέμονται στο χρόνο και στις επαναλήψεις όπως φαίνεται στον πίνακα. 2

Πίνακας 2. Κατανομή βλαβών σε χρόνο και επαναλήψεις

Α/Α	Εξάρτημα	ΒΛΑΒΕΣ						
		Σύν.	Πόσες φορές το ίδιο εξάρτ.			Σε πόσες ώρες εργασίας		
			1	2	ποτέ	150	300	500
1	Υδρ.Αντλ.	9	7	1	92	1	3	5
2	Φωλιά PTO	30	30	0	70	8	12	10
3	Σφικτήρας PTO	42	42	0	58	4	18	20
4	Ακρόμπαρ	51	45	3	52	6	20	25
5	Ρουλεμ.με τσιμούχα τροχού	55	47	4	49	9	28	18
6	Ελατήρια Εμβόλου	Σετ 25	25	0	75	2	8	15
7	Φλάντζα κεφαλής	27	23	2	83	9	9	9
8	Δίσκος Συμπλ.	29	23	3	74	5	10	14
9	Αντλία Πετρελ.	30	26	2	70	0	28	2
10	Φίλτρο Αέρα	106	100	3	0	3	50	53
		404	368	18		47	186	171

Από τον Πίνακα. 2 διαπιστώνεται ότι από τις 404 συνολικές βλάβες οι 368 συμβαίνουν για πρώτη φόρα στα ίδια εξαρτήματα, ενώ η 18 βλάβες επαναλαμβάνονται για δεύτερη φορά. Αυτό σημαίνει ότι υπάρχει πρόβλημα ποιότητας επισκευής είτε ποιότητας των εξαρτημάτων που αγοράζονται. Επίσης από τον Πίνακα.2 βλέπουμε ότι 47 βλάβες συμβαίνουν στην διάρκεια από 0 έως 15000 ώρες εργασίας συνολικά, 186 βλάβες στην διάρκεια 15000 έως 30000 ώρες και 171 βλάβες συμβαίνουν από τις 30000 έως 50000 ώρες εργασίας.

4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Ο χρόνος για την επισκευή των βλαβών και ο συνολικός χρόνος καθυστέρησης της εργασίας παρουσιάζεται στον Πίνακα 3. Τα δεδομένα για τον χρόνο επισκευής έχουν ληφθεί από τιμοκατάλογο εργασιών για, τις βλάβες αυτές, που εφαρμόζεται στην εταιρία NEWHOLLAND για την οποία έχει γίνει η έρευνα. Επίσης παρουσιάζονται στον Πίνακα.3 ο συνολικός χρόνος καθυστέρησης της εργασίας για κάθε είδος βλάβης και συνολικά για όλες τις βλάβες. Από τα στοιχεία αυτά υπολογίζεται η αξιοπιστία του

συστήματος για κάθε βλάβη και η συνολική αξιοπιστία του. Από τον πίνακα αυτόν προσδιορίζεται ο μέσος όρος καθυστέρησης για κάθε ελκυστήρα για έναν χρόνο από τις βλάβης που συνέβησαν.

Πίνακας.3. Χρόνος επισκευής βλαβών και αξιοπιστία συστήματος

Α/Α	Εξάρτημα η κόμβοι που εξετάζονται	Χρόνος για την αντικατάσταση (σε ώρες)*	Αριθμός βλαβών	Καθυστέρηση εργασιών σε ώρες	$R_i = e^{-\lambda_i}$
1	Αντλία υδραυλικού	4,50	9	40,5	0,999
2	Φωλιά Ρ.Τ.Ο.	7,50	30	225	0.995
3	Σφικτήρας Ρ.Τ.Ο.	1,00	42	42	0,999
4.	Ακρόμπαρο αντ/ση	1,00	51	51	0,998
5	Ρουλεμάν τροχού	0,80	55	44	0,999
6	Ελατήρια Κινητήρα	10,00	25	250	0,995
7	Φλάντζα κεφαλής	5,00	27	135	0,997
8	Δίσκος συμπλέκτη	4,40	29	127,6	0,997
9	Αντλία πετρελαίου	8,50	30	255	0,995
10	Φίλτρα αέρα	0,50	106	53	0,998
	Σύνολο		404	1222,1	0,9044

Από τον Πίνακα 3 προκύπτει ότι η καθυστέρηση εργασιών για την περιοχή, λόγω βλαβών στα εξαρτήματα που ερευνήθηκαν είναι συνολικά 1222,1 ώρες για 100 ελκυστήρες για τη συγκεκριμένη χρονιά δηλαδή κατά μέσο όρο, 12,22 ώρες για κάθε ελκυστήρα το χρόνο. Η καθυστέρηση αυτή προέρχεται μόνο από αστοχίες στους ελκυστήρες χωρίς να ληφθούν υπόψη οι αστοχίες στα παρελκόμενα μηχανήματα ή από άλλους παράγοντες και άλλα εξαρτήματα του ελκυστήρα. Στη βιβλιογραφία, για τους ελκυστήρες diesel οι συνολικές απώλειες χρόνου λόγω βλαβών υπολογίζεται από την σχέση $A = 0{,}000323X^{1{,}4173}$, όπου Χ είναι η συνολική διάρκεια λειτουργίας σε ώρες [7]. Σε προηγούμενη μελέτη [8] μερικών ετών οι συνολικές απώλειες χρόνου λόγω βλαβών υπολογίζονται με την παρακάτω εξίσωση $A = 0{,}00049X^{1{,}42}$

Η διάρκεια χρόνου που συμβαίνουν οι βλάβες και η σχετική συχνότητα επισκευής τους παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.

Από τον πίνακα αυτόν παρατηρείται ότι για όλη την διάρκεια εργασίας των ελκυστήρων συμβαίνουν βλάβες με πιο μεγαλύτερη συχνότητα μετά από τις πρώτες 150 ώρες εργασίας. Επίσης διαπιστώνεται ότι η περισσότερες βλάβες είναι μικρής διάρκειας επισκευής, ήτοι: 254 βλάβες που η διάρκεια επισκευής τους είναι από 0 – 1 ώρα, 65 βλάβες, που η διάρκεια επισκευής τους ήταν από 4 – 5 ώρες, 30 βλάβες με διάρκεια επισκευής τους 7 – 8 ώρες, και 55 βλάβες που η διάρκεια επισκευή τους ήταν από 8 – 10 ώρες. Ο χρόνος επισκευής όλων των βλαβών αποτελεί και τον συνολικό χρόνο

καθυστέρησης εργασιών στις καλλιέργειες και οι οποίες προκαλούν απώλειες στην παραγωγή.

Πίνακας. 4 Συχνότητα βλαβών και διάρκεια επισκευών.

Διάρκεια χρόνου που συμβαίνει η βλάβη h.	Αριθμός βλαβών στο συγκεκριμένο χρόνο.	Σχετική συχνότητα βλαβών	Χρόνος επισκευής βλαβών σε ώρες	Αριθμός επισκευών στο συγκεκριμένο χρόνο	Σχετική συχνότητα επισκευής βλαβών.
0 - 50	19	0,047	0 – 1	254	0,629
50 - 100	15	0,037	1 – 2	0	0,000
100 - 150	13	0,032	2 – 3	0	0,000
150 - 200	65	0,161	3 – 4	0	0,000
200 - 250	67	0,166	4 – 5	65	0,161
250 - 300	54	0,134	5 - 6	0	0,000
300 - 350	35	0,086	6 - 7	0	0,000
350 – 400	42	0,104	7 - 8	30	0,074
400 - 450	46	0,114	8 -10	55	0,136
450- 500	48	0,119	>10	0	0,000
Σύνολο	404			404	

Οι απώλειες παραγωγής, γενικώς μπορούν να εκφρασθούν ως απώλειες από πρώιμη η από όψιμη εκτέλεση εργασιών σε σχέση με την άριστη περίοδο (t_o) [7,9]. Για την περίπτωση που αρχίζει t_1 ημέρες νωρίτερα και περατώνεται t_2 ημέρες νωρίτερα της άριστης περιόδου, οι συνολικές απώλειες της παραγωγής (% της μέγιστης) εκφράζεται από την σχέση :

$$y_{\Sigma} = k_{t_1}\left(t_2 - t_1\right)^{2/3} \tag{9}$$

όπου : y_{Σ} - συνολικές απώλειες (% της μέγιστης παραγωγής)

k_{t_1} - συντελεστής μείωσης για εργασίες πριν από την άριστη περίοδο.

$t_2 - t_1 -$ ημέρες εκτέλεσης εργασιών νωρίτερα από την άριστη περίοδο.

Ανάλογες είναι και οι απώλειες όταν η εργασία αρχίζεί t_1 ημέρες μετά και περατώνεται t_2 ημέρες μετά την άριστη περίοδο (t_o) .

$$y_{\Sigma} = k_{t_2}\left(t_2 - t_1\right)^{2/3} \tag{10}$$

όπου : k_{t2} – συντελεστής μείωσης, για εργασίες μετά την άριστη περίοδο.

Αν η εργασία αρχίζει t_1 ημέρες πριν από την άριστη περίοδο (t_o) και περατώνεται t_2 ημέρες μετά , οι συνολικές απώλειες δίνονται από την σχέση :

$$y_{\Sigma} = \frac{1}{3}\left[k_{t_1}\left(t_o - t_1\right)^3 + k_{t_2}\left(t_2 - t_o\right)^3\right] / \left(t_2 - t_1\right) \tag{11}$$

Οι συντελεστές επιβάρυνσης που χρησιμοποιούνται δίνονται στον Πίνακα.5 και η επιβάρυνση δίνεται για κάθε μία ώρα καθυστέρησης της εργασίας. [2,7,11]

Πίνακας 5. Συντελεστές επιβάρυνσης, λόγω μη έγκαιρης εκτέλεσης διαφόρων εργασιών.

Είδος εργασίας	K	Είδος φυτών	K	
			Σπορά	Συγκομιδή
Όργωμα	0,001	Αραβόσιτος	0,001-0,002	0,0003
Σκάλισμα	0,001	Σιτηρά	0,007 -0,008	0,0005
Σβάρνισμα	0,012	Βαμβάκι	0,002-0,005	0,0008
Καλλιέργ. Εδάφους	0,001	ρυζιού	0,001	0,0009

Τα δεδομένα του Πίνακα 5 έχουν ληφθεί από την διεθνή βιβλιογραφία [2,10] για να σχηματιστεί μια εικόνα για την σχέση ανάμεσα στις διάφορες εργασίες και στον συντελεστή επιβάρυνσης όταν οι εργασίες καθυστερούν μία ώρα από την βέλτιστη χρονική στιγμή.

Σε πολλές προηγμένες χώρες (ΗΠΑ, χώρες της Ε.Ε.), έχουν προσδιορισθεί συντελεστές επιβάρυνσης (timelines coeficients ή timelines loss factors), για ορισμένες εργασίες, σε διάφορες περιοχές. Για την Ελλάδα θα πρέπει να ερευνηθεί και να συμπληρωθεί η βιβλιογραφία με τους συντελεστές αυτούς.

Συνήθως οι βλάβες στους ελκυστήρες και στα γεωργικά μηχανήματα συμβαίνουν στην περίοδο αιχμής των εργασιών οπότε η συνέπειές τους στην απόδοση και στο κόστος των καλλιεργειών είναι άμεση και υπολογίσιμη. Στην παρούσα έρευνα βρέθηκε ότι για καθυστέρηση 12,2 ώρες απο κάθε ελκυστήρα και για βαθμό αξιοπιστίας ολόκληρου του συστήματος R_{Σ} = 0,9044, οι απώλειες της παραγωγής υπολογίζονται από 2 – 4 %.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

1. Η αξιοπιστία των ελκυστήρων εξαρτάτε άμεσα από τις βλάβες των στοιχείων που ερευνήθηκαν. Στην παρούσα εργασία η αξιοπιστία του ελκυστήρα υπολογίστηκε R_{Σ}=0,9044.Υπάρχει ισχυρή σχέση μεταξύ των βλαβών και των καθυστερήσεων των εργασιών στις καλλιέργειες στο συγκεκριμένο χρόνο εκτέλεσης εργασιών.
2. Η καθυστέρηση εκτελέσεις εργασιών έχει επιπτώσεις στις απώλειες της παραγωγής.

Για την συγκεκριμένη περίπτωση η καθυστέρηση εκτέλεσης εργασιών από βλάβες στον ελκυστήρα ήταν 12,2 ώρες, και οι απώλειες υπολογίζονται 2 – 4 % της μέγιστης παραγωγής.

3. Οι συντελεστές επιβάρυνσης θα πρέπει να ερευνηθούν και να συμπληρωθεί η βιβλιογραφία και για την Ελλάδα, ώστε να υπάρχουν πιο αξιόπιστα αποτελέσματα στις μελέτες.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Π. Δρακάτος.,2001. Τεχνική Διαγνωστική – Προγνωστική Αξιοπιστία Μηχανικών Συστημάτων . Τόμος 4. Πάτρα 2001.
2. Hunt, D., 1977. Farm power and Machinery management (7th Edn.) Iowa State University Press, Ames, IA
3. American Society of Agricultural Engineers. Standards 1985.
4. E.Mygdakos, T.A.Gemtos., 2002. Reliability of Cotton Pickers and its Effect on Harvesting Cost. Biosystems Engineering 82(4), 381 – 391pp.
5. Mehanizacija I Elektrifikacija selkohozjasveni - 2/2003 pp.6 – 8.

6. Ksenovic B.A., 2003.Ground tractor transport systems. Encyclopedia. Moskva 2003.
7. Τσατσαρέλη Κ.,2006. Διαχείριση Γεωργικών Μηχανημάτων. Θεσσαλονίκη 2006.
8. Νάτσης Α.,1983. Ποιοτική επισκευή και συντήρηση ελκυστήρων και γεωργικών μηχανημάτων, κύριος παράγων για εξοικονόμηση καυσίμων στην Γεωργική Μηχανολογία. Γεωργική Μηχανολογία Nr.2 σελ.(3 – 15). Τίρανα. 1983
9. Νάτσης Α. Αριστοποίηση εκλογής μηχανολογικού εξοπλισμού. Μονογραφία Αθήνα 2001.
10. Witney, B.1988. Choosing and Using Farm Machines. Longman Scientific and Technical, Singapore
11. Mehanizacija I Elektrifikacija selkohozjasveni – 7/2003 pp. 22 - 27.
12. Π. Καραρίζος.,2000. Αξιοπιστία Μηχανικών μέσων μετατόπισης του ξύλου . Βόλος 2000. (σελ.519 – 526)
13. Π. Τσαρουχά κ.α.,2005. Συντήρηση μηχανολογικού εξοπλισμού. Δελτίο ΤΕΕ. Τεύχος 375 Μάρτιος 2005. σελ.(42- 50).
14. Mehanizacija I elektrifikacija selkohozjasveni 1967, Nr.4.
15. Mehanizacija I Elektrifikacija selkohozjasveni – 9/2002 pp. 20 -21, 25 – 27
16. Mehanizacija I elektrifikacija selsko hozjasveni 2002, Nr.9 pp. (25 – 27)
17. Χαράλαμπος Ε.,1981. Μπότσαρη Επιχειρησιακή Έρευνα. Αθήνα 1981.
18. Von Bargen K (1970a). Reliability and the capacitive performance of field machines. ASAE, Paper No. 70-647.

Ενότητα 2:

Υδατικοί Πόροι

(115)

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ THETA PROBE ML2 ΣΕ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΑΝΟΜΟΙΟΜΟΡΦΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ.

Γ. Κάργας[1α], Α. Σγουμποπούλου[1β], Β. Φασούλη και Π. Κερκίδης[1γ]
[1] Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής, Ιερά Οδός 75, 11855, Βοτανικός, αlhyd4kag@aua.gr, βansgo@aua.gr, γlhyd2kep@aua.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι συσκευές Theta probe ML2 χρησιμοποιούνται ευρέως για την μέτρηση της εδαφικής υγρασίας. Η εκτίμηση της αξιοπιστίας τους συνήθως αναφέρεται σε καθεστώς ομοιόμορφης υγρασίας. Στην παρούσα εργασία εξετάζεται στο εργαστήριο ο τρόπος υπολογισμού της διηλεκτρικής σταθεράς από την ML2 σε έδαφος SL σε συνθήκες ανομοιόμορφης υγρασίας σε τέσσερεις διαφορετικές περιπτώσεις. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι για τον υπολογισμό της διηλεκτρικής σταθεράς πιο κοντά στις μετρούμενες τιμές βρίσκεται το "αριθμητικό καθεστώς" (arithmetic regime) και ότι η σχέση Θ-Κ είναι γραμμική. Επίσης συγκρίνονται τα αποτελέσματα με το μοντέλο των Robinson et al. (2005) και εξάγονται χρήσιμα συμπεράσματα.

PERFORMANCE OF THE THETA PROBE ML2 IN THE PRESENCE OF NONUNIFORM SOIL MOISTURE PROFILES

G. Kargas[1a], A. Sgoubopoulou[1b], V. Fasouli and P. Kerkides[1c]
[1]Agricultural University of Athens, Dept. of Nat. Resour. Manag. and Agric. Eng., Iera str 75, 11855, Votanikos, αlhyd4kag@aua.gr, βansgo@aua.gr, γlhyd2kep@aua.gr

ABSTRACTt

An attempt is made to investigate the soil – permittivity regime which is "seen" by ML2 theta probe in cases where a nonuniform soil moisture profile prevails. Our investigation was performed in laboratory columns, for a SL porous medium. Four distinct cases, where the moisture regime could be established in a predesigned manner were tried. From our experimental investigations it is shown that the bulk dielectric constant "seen" by the ML2 probe in nonuniformly wet profiles irrespective of their layer thickness is closely ascribed by the arithmetic averaging scheme and the relation Θ-K is linear. Also the results are compared with the calibration equations of Robinson et al (2005) and give useful comments and conclusions.

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Κοντά στην επιφάνεια του εδάφους πολύ συχνά εμφανίζεται ανομοιογενής υγρασιακά κατατομή. Επειδή είναι πολύ συνηθισμένο οι συσκευές μέτρησης της εδαφικής υγρασίας διαμέσου της διηλεκτρικής σταθεράς (K) να τοποθετούνται κατακόρυφα τίθεται το ερώτημα του πως υπολογίζεται σε αυτή την περίπτωση η διηλεκτρική σταθερά του πορώδους μέσου το οποίο περιλαμβάνει στρώσεις με διαφορετικές διηλεκτρικές σταθερές. Για την περίπτωση του TDR ο τρόπος υπολογισμού της K έχει μελετηθεί σε αρκετές εργασίες. Οι Topp et al. (1982) μελέτησαν την περίπτωση δυο διαφορετικών υγρασιακά στρώσεων κάνοντας την υπόθεση ότι ο συνολικός χρόνος t_3 ο οποίος απαιτείται για την μεταφορά ενός ηλεκτρομαγνητικού κύματος από δύο στρώσεις πάχους L_1 και L_2 είναι ίσος με το άθροισμα των επιμέρους χρόνων t_1 και t_2 που απαιτείται για την μεταφορά του κύματος από κάθε στρώση. Έτσι $t_3 = t_1 + t_2$ και συνεπώς :

$$t_3 = \frac{L_1\sqrt{K_1} + L_2\sqrt{K_2}}{c} \tag{1}$$

Η διηλεκτρική σταθερά κατά μήκος της γραμμής μεταφοράς δίνεται από τον τύπο:

$$K_a = \left(\frac{ct_3}{L_1 + L_2}\right)^2 = \left(\frac{L_1\sqrt{K_1} + L_2\sqrt{K_2}}{L_1 + L_2}\right)^2 \tag{2}$$

Συνεπώς αν είναι γνωστές οι διηλεκτρικές σταθερές και το πάχος κάθε στρώσης μπορούμε να υπολογίσουμε τη διηλεκτρική σταθερά του μέσου που περιλαμβάνει αυτές τις στρώσεις. Η περιεκτικότητα σε υγρασία που υπολογίστηκε από την εξίσωση των Topp et al. (1980) με τιμές της $K=K_a$ όπως υπολογίστηκαν από τη (2) έδωσε ίδιες τιμές με την μέση περιεκτικότητα σε υγρασία. Η μέθοδος αυτή ονομάστηκε αργότερα "διαθλαστικό καθεστώς" (refractive index mixing method).

Οι Chan and Knight (1999, 2001) έδειξαν σε δείγματα από άμμο ότι ο τρόπος υπολογισμού της διηλεκτρικής σταθεράς σε πορώδη μέσα με στρώσεις διαφορετικής υγρασίας εξαρτάται από τον λόγο του μήκους κύματος (λ) προς το πάχος της στρώσης (L). Στην περίπτωση που ο λόγος $\frac{\lambda}{L} \geq 4$ τότε η διηλεκτρική σταθερά υπολογίζεται από το "αριθμητικό καθεστώς":

$$\mathrm{K}_a = \frac{\sum_{i=1}^{N} L_i \mathrm{K}_i}{\sum_{i=1}^{N} L_i} \tag{3}$$

σε διαφορετική περίπτωση ακολουθεί το διαθλαστικό καθεστώς

Στην συνέχεια οι Schaap et al (2003) παρουσίασαν μετρήσεις με TDR για δύο, τρεις και πολλές στρώσεις. Τα συμπεράσματα τα οποία κατέληξαν ήταν ότι γενικά το διαθλαστικό καθεστώς για το TDR είναι το καταλληλότερο εκτός από τις περιπτώσεις που η συχνότητα λειτουργίας του είναι μικρότερη από 100 MHZ καθώς και στην περίπτωση λειτουργίας υψηλών συχνοτήτων αλλά που το πάχος των στρώσεων είναι μικρό άρα ο αριθμός τους είναι μεγάλος. Στις περιπτώσεις αυτές πρέπει να ακολουθείται το αριθμητικό καθεστώς. Η μετάπτωση αυτή από το διαθλαστικό καθεστώς όταν έχουμε λίγες αλλά μεγάλου πάχους στρώσεις στο αριθμητικό καθεστώς όταν έχουμε πολλές και μικρού πάχους στρώσεις αποδόθηκε στη μεγάλη καθυστέρηση του σήματος που

συμβαίνει στην περίπτωση των πολλών στρώσεων. Στην περίπτωση αυτή αν ο υπολογισμός της K γίνει με βάση το διαθλαστικό καθεστώς θα οδηγήσει σε σημαντικά σφάλματα της υπολογιζόμενης υγρασίας. Οι Robinson et al. (2005) έδειξαν ότι για τις συχνότητες λειτουργίας του TDR σε πειράματα με δύο διακριτές στρώσεις σε άμμο και γυάλινα σφαιρίδια το διαθλαστικό καθεστώς είναι το καταλληλότερο. Όμως ανέφεραν ότι αυτό μπορεί να μην ισχύει για συχνότητες λειτουργίας μικρότερες από 100 MHz. Στην περίπτωση αυτή αναφέρουν ότι χρειάζεται εξέταση για το ποιο σχέδιο είναι καταλληλότερο. Επίσης πρότειναν για την περίπτωση των δύο στρώσεων ένα μοντέλο υπολογισμού της K που στηρίζεται στην γνώση της τιμής της K στο κορεσμό καθώς και στη ξηρή κατάσταση. Αν θεωρηθεί ότι η τιμή της K στην ξηρή κατάσταση είναι 2.8 τότε απαιτείται μόνο η τιμή της στο κορεσμό.

Στις συσκευές Theta probe ML2 οι οποίες λειτουργούν στην συχνότητα 100 MHZ δεν έχει γίνει μέχρι τώρα έλεγχος για το ποιο σχέδιο βρίσκεται πιο κοντά στις μετρούμενες τιμές (διαθλαστικό ή αριθμητικό). Επίσης δεν έχουν παρουσιασθεί δεδομένα για το τι επίπτωση έχει το κάθε σχέδιο πάνω στον υπολογισμό της υγρασίας. Στην παρούσα εργασία εξετάζουμε τη συμπεριφορά της Theta probe σε τέσσερις περιπτώσεις και γίνεται σύγκριση των αποτελεσμάτων με τις προτεινόμενες εξισώσεις των Robinson et al. (2005).

2.ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1 Περιγραφή της συσκευής ML2

Μία πλήρης περιγραφή της συσκευής ML2 αναφέρεται από τους Gaskin and Miller 1996) και Miller and Gaskin (1997). Η σχέση μεταξύ της Θ και της $\sqrt{K}$ θεωρείται γραμμική και δίνεται από την σχέση:

$$\Theta = \frac{\sqrt{K} - \alpha_0}{a_1} \tag{4}$$

ενώ η σχέση μεταξύ της τάσης (σε volts) που καταγράφονται από την συσκευή ML2 και της τετραγωνικής ρίζας της διηλεκτρικής σταθεράς δίνεται από την σχέση

$$\sqrt{K} = 1.07 + 6.4V - 6.4V^2 + 4.7V^3 \tag{5}$$

Με την καταγραφή των volts βρίσκεται η τιμή της διηλεκτρικής σταθεράς και με την αξιοποίηση των τιμών των α_0 και α_1 που δίνονται εργοστασιακά βρίσκεται η περιεχόμενη Θ. Οι τιμές των α_0 και α_1 για τα ανόργανα είναι 1.6 και 8.4 και για τα οργανικά εδάφη 1.3 και 7.7 αντίστοιχα. Το σήμα εξόδου κυμαίνεται από 0-1 V για εύρος διηλεκτρικής σταθεράς από 1-32, το οποίο αντιστοιχεί σε εύρος υγρασιών από 0-0.5 cm^3/cm^3.

2.2 Εξίσωση των Robinson et al (2005)

Οι Robinson et al (2005) πρότειναν για την περίπτωση δύο στρώσεων την εμπειρική προσέγγιση

$$\sqrt{\mathrm{K}} = \frac{\Theta}{\Phi}\sqrt{\mathrm{K_{sat}}} + \left(1 - \frac{\Theta}{\Phi}\right)\sqrt{\mathrm{K_{dry}}} \tag{6}$$

όπου K_{sat} η τιμή της Κ στο κορεσμό και K_{dry} η τιμή της Κ στην ξηρή κατάσταση. Επίσης πρότειναν ότι μπορεί να θεωρηθεί γνωστή η τιμή για την ξηρή κατάσταση $K_{dry} = 2.8$. Θ είναι η τιμή της υγρασίας σε κάθε Κ και Φ το ολικό πορώδες.

Στην περίπτωση που η συχνότητα λειτουργίας είναι μικρότερη από 100 MHz τότε οι Robinson et al (2005) αναφέρουν ότι η εξίσωση (6) μάλλον δεν ισχύει. Στην περίπτωση αυτή πρότειναν την σχέση

$$K=\frac{\Theta}{\Phi}K_{sat}+\left(1-\frac{\Theta}{\Phi}\right)K_{dry} \quad (7)$$

Στην περίπτωση που θεωρηθεί γνωστή η K_{dry} τότε το μοντέλο απαιτεί μόνο την τιμή της K_{sat} για να εφαρμοστεί. Το μοντέλο τους έχει προταθεί μόνο για την περίπτωση όπου η μία στρώση είναι κορεσμένη και η άλλη στην ξηρή κατάσταση ενώ έχει εφαρμοστεί μόνο στην περίπτωση χονδρόκοκκης χαλαζιακής άμμου.

Εξετάστηκε στο εργαστήριο ένα διαταραγμένο έδαφος SL με ρ_φ=1.22 gr/cm^3.

2.3 Πείραμα

2.3.1. Σύστημα αέρας – νερό, αέρας-κορεσμένο πορώδες μέσο και αντίστροφα..

Η Theta probe εισάγεται κάθετα σε απεσταγμένο νερό με βήματα 5 mm μέχρι βάθος 60 mm και καταγράφονται τα volts. Με τον τρόπο αυτό μετρήθηκε η τιμή της Κ με την βοήθεια της εξίσωσης (5) και εκτιμήθηκε η μέθοδος που ακολουθείται από την συσκευή για τον υπολογισμό της Κ στο σύστημα αέρας – νερό που χαρακτηρίζεται από δύο τελείως διαφορετικές διηλεκτρικές σταθερές (Καέρα=1 και Κνερού=80).

Για τις ανάγκες του πειράματος στα εδάφη κατασκευάστηκαν κύλινδροι από plexiglas διαμέτρου και ύψους 6.5 cm. Στο πάτο των κυλίνδρων τοποθετήθηκε σήτα. Για την περίπτωση αέρας / πορώδες μέσο εισάγεται σταδιακά η Theta probe στο έδαφος με τον ίδιο τρόπο όπως στο πείραμα αέρας /νερό και καταγράφονται τα volts. Όταν έχει εισχωρήσει σε όλο το μήκος η Theta probe καταγράφονται τα volts και υπολογίζεται η Κ στον κορεσμό. Στην αντίθετη περίπτωση (πορώδες μέσο/ αέρας) αφού εισχωρήσει η Theta probe σε όλο το μήκος του δείγματος και μετρηθούν τα volts αφαιρούμε σταδιακά τμήματα κορεσμένου χώματος από το κάτω άκρο έτσι ώστε σταδιακά να μειώνεται το τμήμα που περιέχει το κορεσμένο μέσο και να αυξάνεται αυτό του αέρα. Μετά από κάθε αφαίρεση χώματος γίνεται καταγραφή των volts και υπολογισμός της Κ.

2.3.2. Διαμόρφωση δύο στρώσεων (Υ/Ξ)

Σε αρχικά αεροξηρανθέν δείγμα αφαιρούνται σταδιακά 5 έως 10 mm δείγματος και προστίθεται δείγμα με υψηλή υγρασία και έτσι διαμορφώνεται μία κατατομή όπου στο επάνω μέρος υπάρχει μια υγρή περιοχή και στο κάτω μέρος ξηρό δείγμα. Συνεπώς δημιουργείται ένα προφίλ με δύο διακριτές υγρασιακά στρώσεις (Υ/Ξ) όπου το ύψος της κάθε μίας μεταβάλλεται σταδιακά. Από κάθε προφίλ λαμβάνεται η τιμή της Κ που δίνει η συσκευή και γίνονται οι υπολογισμοί με βάση τα δύο σχέδια.

2.3.3.Διαδικασία στράγισης.

Το αεροξηρανθέν διαταραγμένο δείγμα τοποθετήθηκε στους κυλίνδρους και ακολούθως στο κέντρο του κατακόρυφα τοποθετήθηκε η ML2 έτσι ώστε να μπορεί να καταγράφει την κατατομή υγρασίας σε όλο το μήκος του δείγματος καθώς και την αντίστοιχη τιμή της Κ. Πραγματοποιήθηκε κορεσμός του δείγματος από τη βάση και στη συνέχεια αφέθηκε να στραγγίζει ενώ ημερησίως λαμβάνονταν τιμές των volts, της υγρασίας και του βάρους. Το πείραμα διήρκησε περίπου 30 ημέρες. Μετά το τέλος του

πειράματος το δείγμα τοποθετήθηκε σε φούρνο στους 105^0 C και υπολογίστηκε η υγρασία του. Με την βοήθεια της φαινόμενης πυκνότητας υπολογίστηκε η κατ' όγκο υγρασία που αντιστοιχούσε σε κάθε μέτρηση. Με τον τρόπο αυτό μέσα στο κύλινδρο διαμορφώθηκε μία ανομοιογενής κατατομή. Στην περίπτωση αυτή παρουσιάζεται η σχέση Θ-Κ και συγκρίνεται με τις προτεινόμενες εξισώσεις των Robinson et al (2005).

3.ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

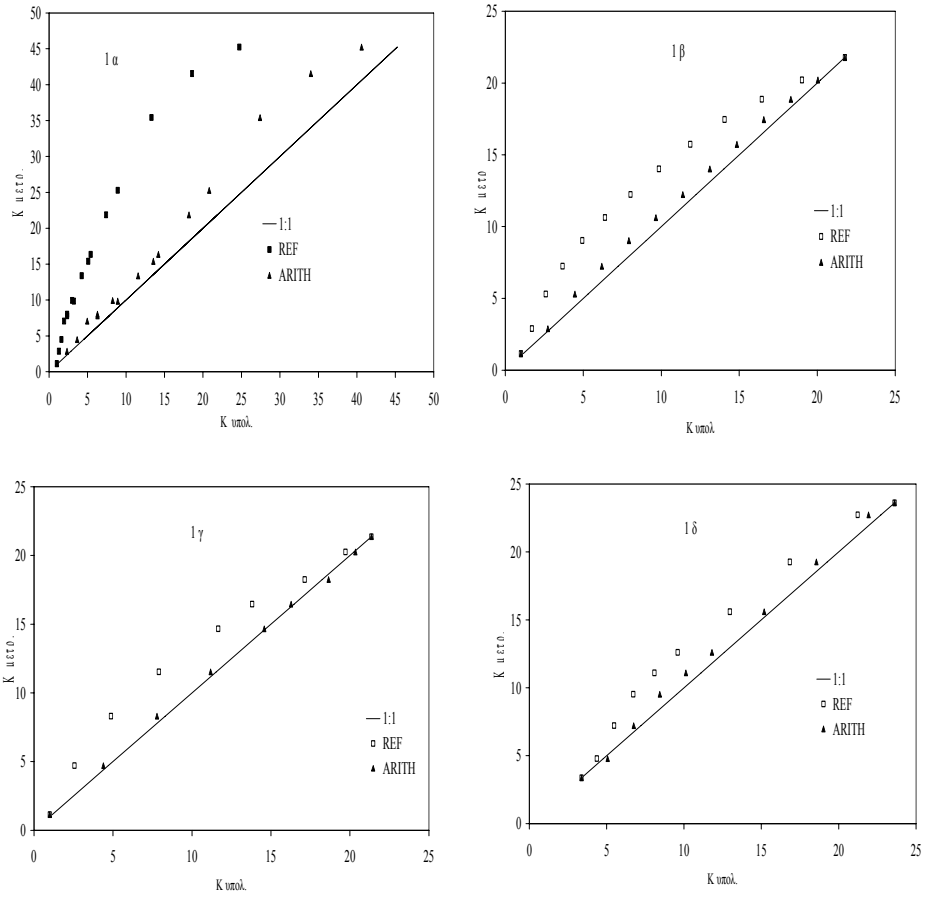
3.1 Σύστημα αέρας – νερό

Όπως φαίνεται από το Σχήμα 1(α), εισάγοντας σταδιακά ανά 5 mm κατακόρυφα την Theta probe σε απεσταγμένο νερό, τα δεδομένα ακολουθούν καθαρά γραμμική σχέση παραπλήσια με το αριθμητικό καθεστώς μέχρι το βάθος περίπου των 25 mm. Στο βάθος των 25 mm η ML2 δίνει το μέγιστο σήμα 1100 mV το οποίο διατηρείται σχετικά ίδιο μέχρι τα 60 mm. Όσο αυξάνεται το βάθος εισχώρησης της Theta probe από την επιφάνεια μέχρι 25 mm αυξάνεται και η απόκλιση από το αριθμητικό καθεστώς όπως υπολογίζεται από τις τιμές της Κ του νερού και της Κ του αέρα. Αυτό συμβαίνει γιατί η τριτοβάθμια εξίσωση (5) αναφέρεται για εύρος διηλεκτρικών σταθερών από 1 έως περίπου 32. Για τον υπολογισμό των δύο σχεδίων θεωρήσαμε τιμές της $K_{νερού}$=80 και $K_{αέρα}$=1.

Επίσης παρατηρείται ότι οι τιμές Κ της Theta probe είναι πάντα μεγαλύτερες από τις τιμές Κ πού δίνει το αριθμητικό καθεστώς. Τα αποτελέσματα αυτά είναι αντίθετα από αυτά με την TDR τα οποία παρουσίασαν οι Schaap et al (2003). Στην περίπτωση της TDR με τρία ραβδία μήκους 20 cm τα δεδομένα έδειξαν ότι η διηλεκτρική σταθερά ακολουθεί καθαρά το διαθλαστικό καθεστώς σε όλο το μήκος των ραβδίων. Τα δεδομένα που παρουσιάζουμε είναι ταυτόσημα με αυτά που παρουσίασαν οι [9]. Από τα δεδομένα φαίνεται ότι εάν οι υπολογισμοί της Κ γίνουν με βάση το διαθλαστικό καθεστώς οδηγούν σε μεγάλη υποεκτίμηση της Κ.

3.2 Αέρας-πορώδες μέσο και αντίστροφα.

Από το Σχήμα 1(β) (αέρας/πορώδες μέσο) φαίνεται ότι το αριθμητικό καθεστώς βρίσκεται πολύ κοντά στην σχέση 1:1. Πρέπει να αναφέρουμε ότι σε αυτή την περίπτωση η μέγιστη τιμή του σήματος εξόδου δίνεται στο βάθος των 60 mm και όχι στα 25 mm. Η αναλογία του σήματος εξόδου στα 25mm με αυτό των 60mm είναι 0.606. Για τον υπολογισμό των δύο σχεδίων χρησιμοποιήσαμε την μέγιστη τιμή της Κ όταν η Theta probe ήταν πλήρως βυθισμένη στο κορεσμένο πορώδες μέσο και $K_{αέρα}$=1. Από το Σχήμα 1(γ) (πορώδες μέσο/αέρας) φαίνεται ότι η τιμή της Κ η υπολογισμένη με το αριθμητικό καθεστώς σχεδόν ταυτίζεται με την σχέση 1:1 πράγμα το οποίο σημαίνει ότι η Theta probe ακολουθεί πάλι το αριθμητικό καθεστώς. Επίσης αν συγκρίνουμε την τιμή των volts στα 30 mm με αυτή των 60 mm βλέπουμε παρόμοια συμπεριφορά με αυτή του αέρας /πορώδες μέσο. Οι αναλογίες τώρα από την σύγκριση είναι 0.65.



Σχήμα 1: Σχέση ανάμεσα στις μετρούμενες και υπολογισμένες τιμές της K με βάση τα δύο σχέδια.

3.2 Διακριτές στρώσεις (Υ/Ξ)

Στην περίπτωση αυτή 1 (δ) φαίνεται ότι ο τρόπος υπολογισμού της K είναι πάλι ίδιος με τις προηγούμενες περιπτώσεις όπου είχαμε αέρας/πορώδες μέσο ή αντίστροφα.

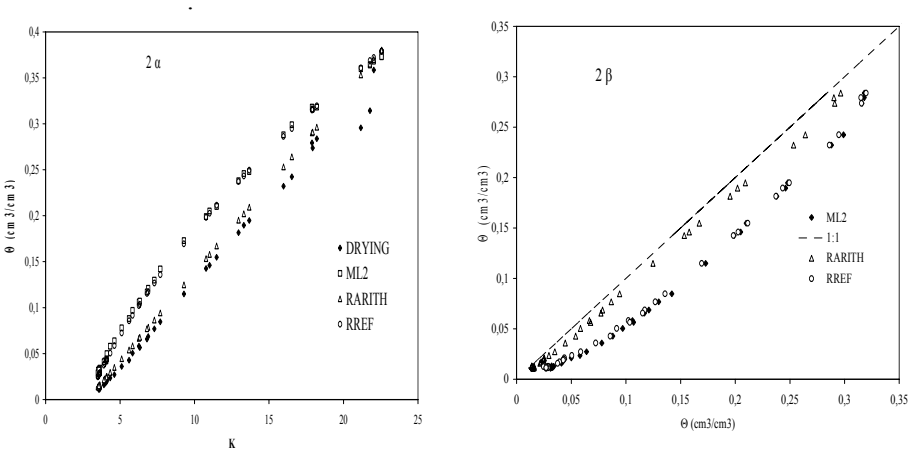
3.4 Σύστημα στρώσεων χωρίς απότομη μεταβολή της υγρασίας.

Όπως προκύπτει από την εξέταση των δεδομένων αλλά και από το Σχήμα 2(α) η σχέση Θ-K στην περίπτωση αυτή είναι γραμμική με πολύ υψηλό συντελεστή συσχέτισης R^2=0.995. Όπως προκύπτει από το Σχήμα 2(α) η πειραματική Θ-K βρίσκεται σαφώς πιο κοντά στο αριθμητικό καθεστώς (εξίσωση 7) των Robinson et al (2005).

Στην περίπτωση αυτή θεωρούμε ότι εντός του δείγματος διαμορφώνεται μία σύνθετη κατάσταση η οποία θα μοιάζει με εκείνη που διαμορφώνεται κατά την διάρκεια του διαστήματος μεταξύ των αρδεύσεων ενώ η προηγούμενη περίπτωση των δύο διακριτών στρώσεων με εκείνη κατά την διάρκεια της άρδευσης

Στο Σχήμα 2β παρουσιάζονται και τα αποτελέσματα που δίνουν οι εξισώσεις (6) και (7), όπου φαίνεται ότι η εξίσωση (7) μπορεί να δώσει καλά αποτελέσματα για την περίπτωση όπου δεν έχουμε δύο διακριτές στρώσεις αλλά η σχέση Θ-K είναι γραμμική. Στην περίπτωσή μας θεωρούμε ότι η τιμή της K στην ξηρή κατάσταση είναι 2.8. Συνεπώς για την εφαρμογή της απαιτείται μόνο η τιμή της K στον κορεσμό. Η εξίσωση

αυτή προτάθηκε από τους Robinson et al. (2005) σαν η πιθανότερη να ισχύει για την περίπτωση όπου η συχνότητα λειτουργίας του αισθητήρα είναι μικρότερη από 100 MHz όταν υπάρχουν δύο στρώσεις διακριτές. Φαίνεται όμως ότι αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για αισθητήρες με συχνότητα λειτουργίας 100 MHz και για πιο σύνθετες καταστάσεις.



Σχήμα 2: α). Η σχέση Θ-K για την περίπτωση της πιο σύνθετης περίπτωσης .DRYING: K μετρούμενη από την theta probe και Θ μετρούμενη ML2: K μετρούμενη από την theta probe και Θ υπολογισμένη RREF και RARITH: K μετρούμενη και Θ υπολογισμένη από τα δύο σχέδια του Robinson.

β) Η σχέση $\Theta_m - \Theta$ όπου Θ είναι οι τιμές που προκύπτουν από την βιομηχανική βαθμονόμηση της συσκευής και τις εξίσωσεις του Robinson και Θ_m οι μετρούμενες τιμές της υγρασίας.

Θεωρούμε ότι η υπόθεση $\Theta - \sqrt{K}$ είναι γραμμική είναι η κυριότερη αιτία για την υπερεκτίμηση της Θ η οποία έχει παρατηρηθεί σε εργασίες [10] και [11]καθώς και στις περιπτώσεις των πορωδών μέσων που εξετάστηκαν στη δικιά μας περίπτωση. Η επίδραση της αλατότητας η οποία αναφέρθηκε από τους Cosh at al (2005) σαν πιθανή αιτία της υπερεκτίμησης της Θ δεν φαίνεται να ισχύει διότι στη δικιά μας περίπτωση η EC των δειγμάτων εκχυλίσματος κορεσμού ήταν αρκετά μικρή για να επηρεάζει την K. Ίσως και η υπερεκτίμηση της K από την ML2 σε σχέση με την τιμή της K από TDR που παρατήρησαν οι Robinson et al (1999) για την περίπτωση δειγμάτων ομοιογενούς υγρασίας να οφείλεται στο γεγονός ότι η ML2 δεν ακολουθεί ακριβώς το διαθλαστικό καθεστώς για αυτές τις περιπτώσεις αλλά κάτι ενδιάμεσο σε σχέση με το διαθλαστικό και το αριθμητικό καθεστώς. Το ζήτημα αυτό χρειάζεται όμως πιο λεπτομερή εξέταση. Λόγω του μήκους της συσκευής είναι ιδιαίτερα δύσκολο να φτιάξει κάποιος ένα σύστημα πολλών διακριτών στρώσεων ανάλογο με αυτό των Schaap et al (2003) για να εκτιμηθεί η συμπεριφορά της ML2 και σε αυτή την περίπτωση.

4.ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τα πειραματικά δεδομένα που παρουσιάστηκαν φαίνεται ότι ο τρόπος υπολογισμού της K από τη συσκευή ML2 βρίσκεται πιο κοντά στο αριθμητικό καθεστώς. Στην περίπτωση του SL που εξετάστηκε η σχέση Θ-K είναι γραμμική. Θεωρούμε ότι ο τρόπος υπολογισμού της K είναι η κυριότερη αιτία υπερεκτίμησης της Θ από τη συσκευή ML2 στις περιπτώσεις ανομοιόμορφης υγρασίας. Η εξίσωση (7) των

Robinson et al. (2005) δίνει καλύτερα αποτελέσματα από την ML2 και μάλιστα πολύ κοντά στα πειραματικά δεδομένα ειδικά για τις περιπτώσεις της στράγγισης και των σύνθετων υγρασιακά προφίλ.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. D.A. Robinson, S.B. Jones, J.M. Blonquist and S.P. Friedman. 2005.A physical derived water content/permittivity calibration model for coarse – textured layered soils. Soil Sci. Soc. Am J. 69 (5): 1372-1377
2. G.C Topp, J.I. Davis and A.P. Annan. 1982. Electromagnetic determination of soil water content using TDR: I. Applications of wetting fronts and steep gradients. Soil Sci. Soc. Am J. 46: 672-678.
3. G.C Topp, J.I. Davis and A.P. Annan. 1980. Electromagnetic determination of soil water content: measurements in coaxial transmission lines. Water Resour. Res. 16:574-582.)
4. C. Y. Chan and R. J. Knight 1999. Determining water content and saturation from dielectric measurements in layered materials. Water Res. Research 35 (1), 85-93.
5. C. Y. Chan and R. J. Knight. 2001. Laboratory measurements of electromagnetic wave velocity in layered sands. Water Res. Research 57 (4): 1099-1105.
6. M.G. Schaap, D.A. Robinson, S.P.Friedman, and A. Lazar. 2003. Measurement and modeling of the TDR signal propagation through layered dielectric media. Soil Sci. Soc. Am J. 67: 1113-1121.
7. Gaskin G. and Miler J.D. 1996. Measurement of soil water content using a simplified impedance measuring technique. J. Agric.Res. 63: 153-160
8. Miler J.D.and Gaskin G. 1997. The development and application of the thetaprobes soil water sensor. MLURI. Technical note.
9. H. Schack-Kirchner, T. Schmid and E. Hildebrand. 2005. High-resolution monitoring of surface-flow depth with frequency domain probes. Soil Sci. Soc. Am J. 69: 343-346.
10. Cosh M.H., Jackson T.J., Bindlish R., Famiglietti J.S., Ryu D. 2005. Calibration of an impedance probe for estimation of surface soil water content over large regions. Journal of Hydrology 311: 49-58.
11. Kargas G. and P. Kerkides 2007. Water content determination in mineral and organic porous media by ML2 theta probe. Irrigation and Drainage (In press).
12 Robinson D.A, Gardner C.M.K., Cooper J.D. 1999. Measurement of relative permittivity in sandy soils using TDR, capacitance and theta probes: comparison, including the effects of bulk soil electrical conductivity. Journal of Hydrology 223: 198-211

(146)

ΥΠΟΓΕΙΑ ΑΡΔΕΥΣΗ ΣΕ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΒΑΜΒΑΚΙΟΥ ΜΕ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΕΣ ΔΟΣΕΙΣ ΑΡΔΕΥΣΗΣ

Μ. Σακελλαρίου – Μακραντωνάκη, Χ. Παπανικολάου και Σ. Πατελοδήμου

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Σχολή Γεωπονικών Επιστ., Τμ. Γεωπονίας Φ. Π. & Α. Π., Οδός Φυτόκου, 38446, Ν. Ιωνία Μαγνησίας msak@uth.gr .

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα έτη 2004 και 2005 πραγματοποιήθηκε έρευνα στο αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, στην περιοχή Βελεστίνου, με σκοπό την μελέτη της επίδρασης των διαφορετικών δόσεων υπόγειας στάγδην άρδευσης στην ανάπτυξη και απόδοση της καλλιέργειας βαμβακιού. Χρησιμοποιήθηκαν δύο δόσεις άρδευσης. Η πρώτη (Α) ήταν ίση με το 100% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής ενώ η δεύτερη (Β) ήταν ίση με το 80% αντίστοιχα. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων έδειξαν ότι με τη Β μεταχείριση το νερό άρδευσης εφαρμόζεται αποδοτικότερα. Η συνολική παραγωγή κυμάνθηκε πάνω από το μέσο όρο της περιοχής ενώ παράλληλα εξοικονομήθηκε νερό και ενέργεια.

SUBSURFACE DRIP IRRIGATION IN COTTON WITH DIFFERENT WATER DEPTHS

M. Sakellariou – Makrantonaki, C. Papanikolaou and S. Patelodimou

University of Thessaly, Sch. of Agricultural Sc, Dept. of Agriculture Crop Prod. & Rural Env., Fytokou Str, 38446, N. Ionia Magnesias msak@uth.gr .

ABSTRACT

During the years of 2004 and 2005, at the experimental farm of University of Thessaly, in Velestino, Volos, a research was conducted on studding the effect of subsurface drip irrigation with different water depths on cotton's growth and productivity. It was used two different water depths. The first water depth (A) was equal to 100% of daily evaportranspiration while the second one (B) was equal to 80% respectively. The results showed that the treatment B supplied irrigation water more efficiently. The total yield was over the average cotton production per ha of the region while water and energy were saved.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το φυσικό περιβάλλον διαταράσσεται διαρκώς τα τελευταία 50 χρόνια. Η εκβιομηχάνιση, η αστικοποίηση και η εντατικοποίηση της γεωργίας είναι οι κυριότεροι παράγοντες της διαταραχής του. Σημαντικότερη εκ των οποίων είναι η διαταραχή στο ισοζύγιο νερού [1]. Με την εφαρμογή υπόγειων μεθόδων άρδευσης μπορεί να επιτευχθεί εξοικονόμηση και αποδοτικότερη χρήση νερού καθώς και χρήση υγρών αστικών αποβλήτων [2, 3] ενώ παράλληλα η παραγωγή κυμαίνεται πάνω από το μέσο όρο της περιοχής.

Σκοπός αυτής της έρευνας διετούς διάρκειας ήταν η μελέτη και αξιολόγηση της επίδρασης της διαφορετικής δόσης άρδευσης, χρησιμοποιώντας σύστημα υπόγειας στάγδην άρδευσης, στα παραγωγικά χαρακτηριστικά της καλλιέργειας του βαμβακιού.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1. Ο αγρός και το σύστημα άρδευσης

2.1.1. Ο αγρός

Το πείραμα πραγματοποιήθηκε στον πειραματικό αγρό του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, στο Βελεστίνο (γ.π. 39º 23΄, γ.μ. 22º 45΄) κατά τις καλλιεργητικές περιόδους 2004 και 2005. Σύμφωνα με την εδαφική ανάλυση και ταξινόμηση που έγινε από το Ινστιτούτο Χαρτογράφησης και Ταξινόμησης Εδαφών και του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας το έδαφος είναι πηλώδες ως προς τη μηχανική σύσταση και ανήκει στην υποομάδα των Typic Xerorthent των Entisols [4]. Η υδραυλική αγωγιμότητα του αγρού, σε βάθος 32, 63 και 88cm καθώς και οι άλλες υδραυλικές παράμετροι του εδάφους του πειραματικού αγρού όπως προσδιορίσθηκαν στο εργαστήριο Γεωργικής Υδραυλικής δίδονται στον *Πίνακα 1*.

Πίνακας 1**.** Υδραυλικές παράμετροι του εδάφους

Βάθος	Τύπος	Φ.Ε.Β.	Υδατ/τητα	Σημ. Μόν .Μάρ.	Υδραυλ. Αγωγ.
cm	Εδάφους	(gr/cm^3)	(%w)	(%w)	(cm/h)
0-32	L	1,25	20,9	11,48	0,38
32-63	SCL	1,23	21,2	11,64	0,19
63-88	L	1,21	21,5	11,81	0,33

2.1.2. Το σύστημα άρδευσης

Η κεφαλή του συστήματος άρδευσης περιελάμβανε έναν προγραμματιστή αυτόματης άρδευσης, υδρολιπαντήρα, φίλτρα, ηλεκτροβάνες για κάθε μεταχείριση και υδρομετρητές μέτρησης της συνολικής ποσότητας νερού άρδευσης των μεταχειρίσεων. Χρησιμοποιήθηκε συσκευή μέτρησης της εδαφικής υγρασίας T.D.R (Time Domain Reflectometry) και δύο αισθητήρες, ένας για κάθε μεταχείριση. Οι μετρήσεις της εδαφικής υγρασίας πραγματοποιούνταν μία μέρα πριν και μία ημέρα μετά την άρδευση. Το δίκτυο άρδευσης περιελάμβανε κύριο αγωγό μεταφοράς με διάμετρο 32mm και δύο δευτερεύοντες με διάμετρο 20mm. Το δίκτυο εφαρμογής περιλάμβανε σταλακτηφόρους σωλήνες από πολυαιθυλένιο διαμέτρου 20mm που απείχαν μεταξύ τους 1.9m. Ο σταλακτηφόρος αγωγός περιελάμβανε αυτοκαθαριζόμενους και αυτορυθμιζόμενους σταλακτήρες με ισαποχή 80cm (in line) και παροχή του κάθε σταλάκτη 2,3 l/h. Η δόση νερού ήταν ίση με το 100% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής για τη μεταχείριση Α (Υ100%ΕΤ) και 80% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής για τη μεταχείριση Β (Υ80%ΕΤ)

αντίστοιχα . Οι σταλακτηφόροι σωλήνες τοποθετήθηκαν σε κάθε δεύτερη γραμμή με τη χρήση υπεδαφοθέτη και σε βάθος 0,45m.

Για την αυτοματοποίηση της άρδευσης χρησιμοποιήθηκε αυτόματος προγραμματιστής τύπου Miracle, ο οποίος έχει τη δυνατότητα να διαχειρίζεται τις δυο ηλεκτροβάνες σε διάφορα προγράμματα άρδευσης. Κάθε ηλεκτροβάνα αντιστοιχούσε σε μια μεταχείριση. Το εύρος άρδευσης επιλέχθηκε να είναι δυο μέρες, έτσι ώστε η υγρασία στο ριζικό σύστημα να βρίσκεται συνέχεια πλησίον της υδατοϊκανότητας. Η εφαρμοζόμενη ποσότητα νερού κάθε άρδευσης καθορίστηκε με τη βοήθεια εξατμισιμέτρου τύπου Α (Class A pan), με βάση την αθροιστική εξατμισοδιαπνοή από την προηγούμενη άρδευση [5, 6, 7].

2.2. Η καλλιέργεια

Τα πειραματικά τεμάχια είχαν πλάτος 4m (κάθετα στις γραμμές σποράς) και μήκος 14m (παράλληλα στις γραμμές σποράς) και περιελάμβανε 4 σειρές βαμβακιού οι οποίες απείχαν 0,95m μεταξύ τους σύμφωνα με τη συνήθη καλλιεργητική πρακτική και 14-16 φυτά ανά μέτρο κατά μέσο όρο. Χρησιμοποιήθηκε τυχαιοποιημένο σχέδιο συγκροτημάτων RCB με δύο μεταχειρίσεις σε τέσσερις επαναλήψεις. Η τυχαιοποίηση έγινε με τη χρήση των στατιστικών πινάκων. Για τη στατιστική επεξεργασία χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος T-test για επίπεδο σημαντικότητας P=0,05. Οι μετρήσεις γινόταν εβδομαδιαία από τις δύο μεσαίες σειρές για τη μείωση του πειραματικού σφάλματος λόγω αλληλεπιδράσεως από τα διπλανά πειραματικά τεμάχια.

Η κατεργασία του πειραματικού αγρού περιελάμβανε τις κλασικές εργασίες εδάφους που χρησιμοποιούνται στην περιοχή της Θεσσαλίας (Φθινοπωρινό όργωμα, Ανοιξιάτικη κατεργασία με σβολοκοπτικό). Η συνολική επιφανειακή λιπαντική αγωγή που εφαρμόστηκε ήταν σύμφωνα με τις γενικές αρχές και απαιτήσεις της καλλιέργειας του βαμβακιού για την περιοχή της Θεσσαλίας (Άζωτο: 14 λιπαντικές μονάδες, Φώσφορο: 7 λιπαντικές μονάδες και Κάλιο: 7 λιπαντικές μονάδες το 2004 και Άζωτο: 13 λιπαντικές μονάδες, Φώσφορο: 0 λιπαντικές μονάδες και Κάλιο: 5 λιπαντικές μονάδες το 2005) και πραγματοποιήθηκε κυρίως με υδρολίπανση.

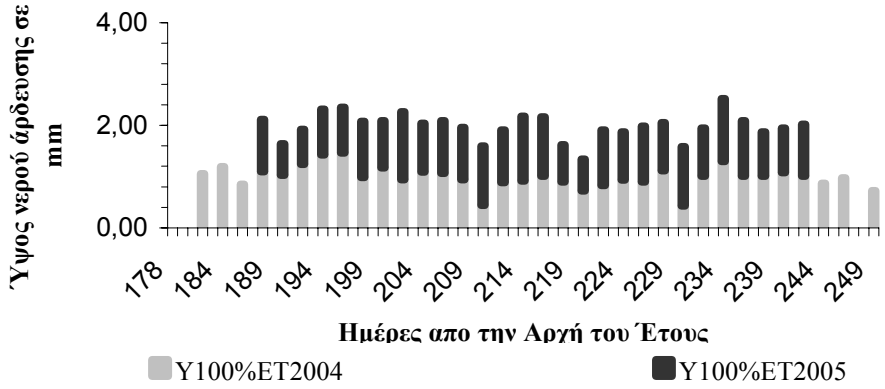
Η σπορά του βαμβακιού έγινε στις 15/5/2004 και στις 10/5/2005 με πνευματική μηχανή. Η ποικιλία που χρησιμοποιήθηκε ήταν η DELTA OPALO (Οπάλ). Η συγκεκριμένη ποικιλία επιλέχθηκε κυρίως επειδή καλλιεργείται στη Θεσσαλία σε μεγάλη έκταση. Τα χαρακτηριστικά της είναι το βαθύ ριζικό σύστημα, που την κάνει ανθεκτική στην ξηρασία, το έντονο πράσινο χρώμα και η μεγάλη ανάπτυξη και η αντοχή στην αδρομύκωση, στις ιασσίδες και τους αλευρώδεις [8].

Η συγκομιδή έγινε με το χέρι στις 20/10/2004 και στις 22/10/2005 και 13/11/2005. Η δειγματοληψία αφορούσε μέτρηση παραγωγής και ποσότητας καταναλισκόμενου νερού. Ημερήσιες μετρήσεις κλιματολογικών στοιχείων (θερμοκρασίας και ταχύτητας ανέμου, βροχόπτωσης, προσπίπτοντος ηλιακού φωτός, ατμοσφαιρικής υγρασίας) πραγματοποιήθηκαν με τη βοήθεια του αυτόματου μετεωρολογικού σταθμού του αγροκτήματος για στατιστικούς κυρίως λόγους αλλά και για λόγους σύγκρισης και επαλήθευσης των οπτικών παρατηρήσεων από το εξατμισίμετρο τύπου Α.

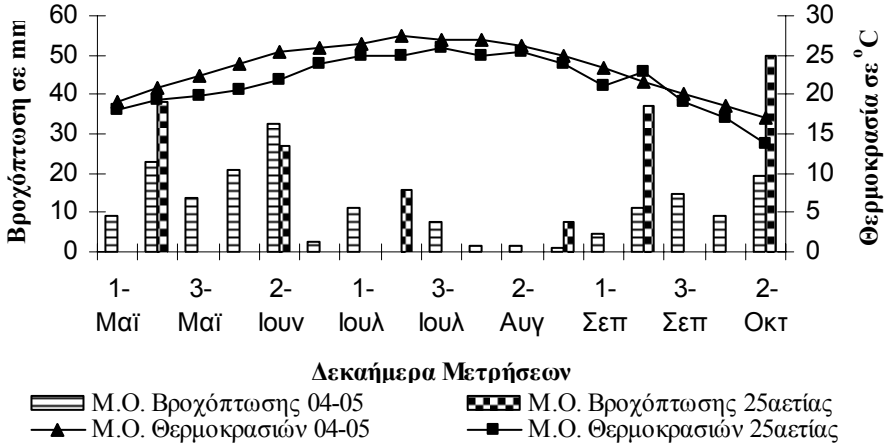
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

3.1. Κλιματικά δεδομένα

Στο *Σχήμα 1* δίνονται οι δόσεις άρδευσης της καλλιέργειας σε επίπεδο 100% της ημερήσιας εξάτμισης των καλλιεργητικών περιόδων 2004 και 2005. Στο *Σχήμα 2* απεικονίζονται οι μέσοι όροι της βροχόπτωσης και των θερμοκρασιών για την ίδια χρονική περίοδο καθώς και οι αντίστοιχοι μέσοι όροι της τελευταίας 25αετίας.



Σχήμα 1. Δόση άρδευσης σε επίπεδο 100% της ημερήσιας εξάτμισης της διετίας 2004-2005.

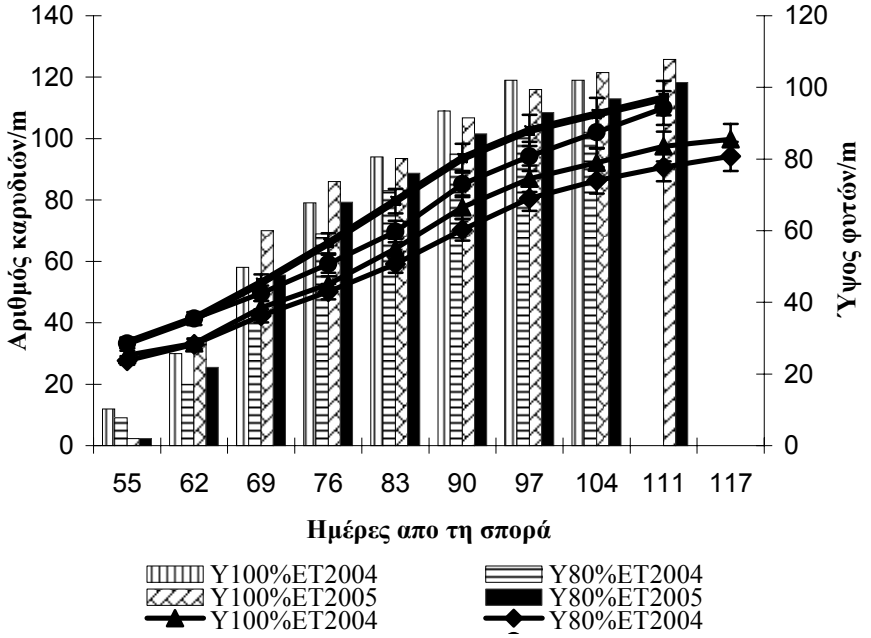


Σχήμα 2. Μέσοι όροι βροχόπτωσης και Θερμοκρασιών διετίας 2004-2005 και 25αετίας

3.2. Αξιολόγηση χαρακτηριστικών και τελικής παραγωγής βαμβακιού

Στο *Σχήμα 3* απεικονίζεται η εξέλιξη του ύψους του κεντρικού βλαστικού στελέχους του βαμβακιού και του αριθμού καρυδιών ανά μέτρο σε σχέση με το χρόνο από την ημερομηνία σποράς για κάθε μια από τις δύο μεταχειρίσεις κατά τις δύο καλλιεργητικές περιόδους 2004-2005.

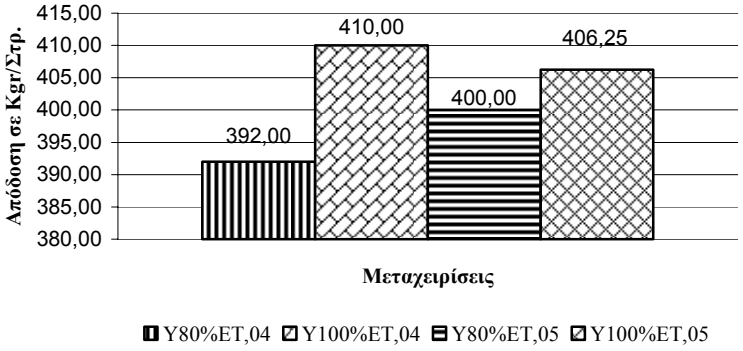
Στη τελική διαμόρφωση των υψών παρατηρείται μία τάση υπεροχής της μεταχείρισης Α έναντι της Β σε επίπεδο μέσων όρων τόσο κατά το 2004 όσο και κατά το 2005. Όπως φαίνεται και στο *Σχήμα 3*, στα αρχικά στάδια της καλλιέργειας τα φυτά αναπτύσσονται ομοιόμορφα ενώ αρχίζει να διαφοροποιείται κατά το έκτο δεκαήμερο από τη σπορά. Αυτό οφείλεται στην σπορά ακριβείας, την ομοιομορφία φυτρώματος και την ίδια ποσότητα άρδευσης (όλα τα πειραματικά τεμάχια δέχτηκαν ως την έναρξη του προγράμματος άρδευσης ίδιες ποσότητες νερού που προέκυψαν από άρδευση με τη μέθοδο του καταιονισμού και από βροχοπτώσεις).



Σχήμα 3. Εξέλιξη του ύψους (γραμμές) και του αριθμού καρυδιών (στήλες) των βαμβακοφύτων κατά τα έτη 2004 και 2005.

Στο *Σχήμα 4* δίνεται η τελική παραγωγή σε σύσπορο βαμβάκι τη διετία 2004-2005 χωρίς να περιλαμβάνονται απώλειες λόγω μηχανοσυλλογής οι οποίες ανέρχονται στο επίπεδο του 8% της παραγωγής [9]. Στη τελική διαμόρφωση του αριθμού των καρυδιών τη μεγαλύτερη επίδοση εμφανίζει η μεταχείριση Α, γεγονός αναμενόμενο αφού παρατηρήθηκε παραγωγή μεγαλύτερου αριθμού χτενιών ως συνέπεια και του μεγαλύτερου ύψους φυτών.

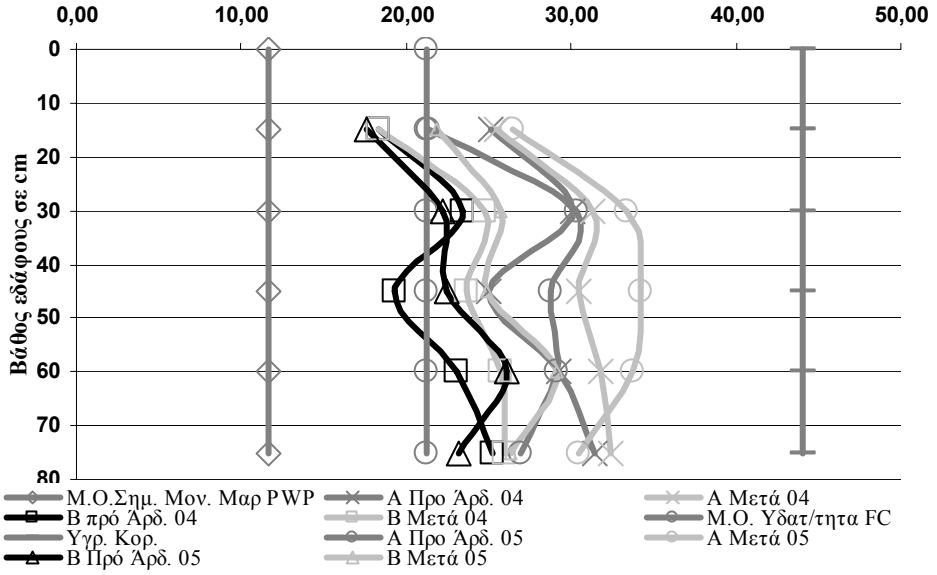
Μεταξύ των δύο μεταχειρίσεων, τάση μεγαλύτερης παραγωγής παρουσίασε η Α χωρίς να διαφέρει σημαντικά από την Β τόσο σε επίπεδο μέσων όρων διετίας όσο και κατά την καλλιεργητική περίοδο 2005. Ωστόσο το έτος 2004 η σημαντική διαφορά στην απόδοση μεταξύ των δύο μεταχειρίσεων οφείλεται κυρίως στο γεγονός ότι την περίοδο Σεπτεμβρίου 2004 παρατηρήθηκαν κάποιες βροχοπτώσεις που συνετέλεσαν σε τάσεις αναβλάστησης και ελλιπές γέμισμα του σπόρου, άρα μείωση του βάρους καρυδιού και της παραγωγής στη μεταχείριση Β. Στη μεταχείριση Α το φαινόμενο αυτό ήταν περιορισμένο λόγω του μεγαλυτέρου αριθμού καρυδιών που παρήγαγε το φυτό. Γενικά κατά τις δειγματοληψίες καρυδιών παρατηρήθηκε ότι η μεταχείριση Α παρήγαγε μεγαλύτερο αριθμό καρυδιών αλλά με μικρότερο μέσο βάρος ενώ το αντίστροφο συνέβαινε με τη μεταχείριση Β. Η διαφορά αυτή οφείλεται στο γεγονός ότι η πυκνότητα των ριζικών τριχιδίων ανά m^3 εδάφους αυξάνει όσο μειώνεται το ποσοστό άρδευσης [10].



Σχήμα 4. Τελική απόδοση της καλλιέργειας σε σύσπορο βαμβάκι τα έτη 2004-2005.

3.3. Διακύμανση εδαφικής υγρασίας και αποδοτικότητα νερού άρδευσης

Στο *Σχήμα 5* φαίνεται η διακύμανση της εδαφικής υγρασίας στα διάφορα βάθη του εδάφους για κάθε μία καλλιεργητική περίοδο. Οι τιμές προέκυψαν από το μέσο όρο των τιμών της κάθε μέτρησης.



Σχήμα 5. Διακύμανσης εδαφικής υγρασίας στα διάφορα βάθη εδάφους .

Από το σχήμα φαίνεται ότι για τη μεταχείριση Β, κατά μέσο όρο, η εδαφική υγρασία πριν και μετά την άρδευση διατηρήθηκε κοντά στην υδατοικανότητα σε όλη τη διάρκεια των δύο καλλιεργητικών περιόδων όπως άλλωστε ήταν και αρχικός στόχος (δηλ. να μην υποστεί έλλειψη νερού η καλλιέργεια). Στην περίπτωση της μεταχείρισης Α η εδαφική υγρασία ήταν πάνω από την υδατοικανότητα χωρίς να δημιουργείται πρόβλημα κορεσμού του εδάφους και συνεπώς συνθήκες ασφυξίας για την καλλιέργεια.

Από την υδατοκατανάλωση και την παραγωγή που επιτεύχθηκε σε κάθε μεταχείριση προσδιορίσθηκε η αποδοτικότητα χρήσης νερού [Αποδοτικότητα = Παραγωγή (Kgr/Στρ.)/ Συνολική ποσότητα νερού (mm)]. Στην υδατοκατανάλωση νερού

περιλαμβάνεται η συνολική ποσότητα νερού που εφαρμόστηκε συμπεριλαμβανομένης και της βροχής. Η αποδοτικότητα χρήσης νερού δίνεται στον *Πίνακα 2*.

Πίνακας 2. Αποδοτικότητα χρήσης νερού (Kgr*Στρ.$^{-1}$ *mm^{-1})

Y100%ET 04	Y80%ET 04	Y100%ET 05	Y80%ET 05
0,91	0,98	0,88	0,99

3.4. Εξοικονόμηση νερού-ενέργειας, Οικονομική μελέτη και Συμπεράσματα

Η συνολική ποσότητα νερού που εφαρμόστηκε δίνεται στον *Πίνακα 3*.

Πίνακας 3. Συνολική ποσότητα νερού που εφαρμόστηκε τη διετία 2004-2005

Έτος	Καταιονι-σμός	Ωφ. Βροχ.	Προγ. Άρδ.100%	Προγ. Άρδ.80%	Συνολ. Νερ 100%	Συνολ. Νερ 80%
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
2004	0	187	266	213	453	400
2005	70	115	275	220	460	405

Στον *Πίνακα 4* δίνονται τα στοιχεία οικονομικής μελέτης για τιμές υλικών του 2006, μέση τιμή πώλησης βαμβακιού 1€/Kgr και για αγρό 90 στρεμμάτων διαστάσεων 210m×429m περίπου.

Πίνακας 4. Παράδειγμα οικονομικής μελέτης για το έτος πρώτης εγκατάστασης.

Απαιτούμενα Υλικά	Ποσ/τα (Τεμ.)	Τιμή Μον. σε €	Δαπάνη σε €	**Κέρδος Παραγωγής Α μεταχ/σης (Μ.Ο.)**
Διόφθαλμα	151	1	151	408,13(Kgr/στρ.)*1
Υδρολιπαντήρας	2	250	500	(€/Kgr)≈408€/Στρ.
Φιλτ. Κεφαλής	2	750	1500	**Κόστος Εγκατ/Στρ**
Φιλτ.Σίτας	51	20	1020	≈238€/Στρ
Σταλ. Σωλήνας	151	84	12684	**Κέρδος Επιφ/κής**
Βαλβ. Εκτ/σης	3	100	300	**Άρδ. 100%ET(Μ.Ο.)**
Κόστος χρήσης υπεδαφοθέτη	90στρ.	22€/στρ.	1980	385,63(Kgr/στρ.)*1 (€/Kgr)≈386€/Στρ.
Σύνολο			18135	**Κόστος Εγκατ/Στρ**
Φ.Π.Α.			≈3265	≈210€/Στρ
Γεν. Σύνολο			≈21400	

Από τις μετρήσεις προέκυψε ότι στη μεταχείριση Β σημειώθηκε εξοικονόμηση νερού και ενέργειας χωρίς να επηρεαστεί σημαντικά η παραγωγή. Συγκεκριμένα δόθηκαν περίπου 217mm νερού και παράχθηκαν 396 kg/στρ. κατά μέσο όρο. Το σύστημα λειτούργησε για 42h λιγότερο σε σχεση με το αντίστοιχο που τροφοδοτούσε την μεταχείριση Α ενώ χορηγήθηκαν 54mm νερού λιγότερα εξοικονομώντας με αυτό τον τρόπο νερό και ενέργεια, προκαλώντας λιγότερες φθορές στον εξοπλισμό και άρα μειώνοντας το κόστος συντήρησης με κέρδος για τον παραγωγό περίπου 15€/στρ. στην πενταετία (ελάχιστο όριο ωφέλιμης λειτουργίας συστήματος υπόγειας άρδευσης) [11].

Το συνολικό κέρδος του παραγωγού σε βάθος πενταετίας είναι 97€/στρ. (408×5+170+15-176-4×386=97) ή 8730€ συνολικά. Σημειώνεται δε ότι η μελέτη

αναφέρεται στα έτη 2004-2005. Η αλλαγή στο καθεστώς πληρωμής του σύσπορου βαμβακιού (επιδότηση κατά στρέμμα και όχι κατά κιλό) που πραγματοποιήθηκε κατά το 2006 ίσως αλλάζει τα δεδομένα καθιστώντας μη συμφέρουσα την επένδυση για τον κοινό αγρότη, ωστόσο όμως για τον νέο αγρότη (που ευεργετείται από διάφορα προγράμματα) μια τέτοια επένδυση εξακολουθεί να παραμένει συμφέρουσα.

Συμπερασματικά η υπόγεια άρδευση κρίνεται γενικά συμφέρουσα γιατί :

- Παρατηρήθηκε τάση μειωμένης ανάπτυξης ζιζανίων.
- Παρατηρείται αποδοτικότερη χρήση των πρόσθετων θρεπτικών στοιχείων.
- Η μεταχείριση Β έχει ικανοποιητική απόδοση, εξοικονομώντας νερό και ενέργεια ενώ παράλληλα εφαρμόζει αποδοτικότερα το νερό άρδευσης.
- Η εδαφική υγρασία διατηρήθηκε στο επίπεδο της υδατοϊκανότητας (μεταχείριση Β) και λίγο πάνω από αυτή (μεταχείριση Α).
- Ευκολότερη διαχείριση ανάπτυξης (μεταχείριση Β) αφού δεν κρίνεται απαραίτητη η χρήση αναστολέων ανάπτυξης .

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Μπεόπουλος, Ν., Λουλούδης, Λ, 1994. *Η αειφόρος ανάπτυξη,* υπό έκδοση βιβλίο, σελ. 24-27.
2. Sakellariou – Makrantonaki, M., Tzavela, E., Vyrlas, P. and Tzimopoulos , C., 2005. Wastewaters reuse through subsurface drip irrigation, *IASME Transactions*, 6(2):1071-1078.
3. Σακελλαρίου – Μακραντωνάκη, Μ., 2004. *Σημειώσεις αρδεύσεων*, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Θεσσαλίας, σελ.6.
4. 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, σελ. 21-41
5. Παπαζαφειρίου, Ζ., 1994. *Αρχές και πρακτική των αρδεύσεων*, Εκδόσεις Ζήτη, Αθήνα, σελ. 196-217.
6. Chang, Jen-hu, 1963. *Microclimate of sugarcane*, Hawaiian Planter's Record, USA, 56(2):195-225pp.
7. Doorenbos, J., and Pruit, W., O., 1977. Crop water requirements, Irrigation and Drainage *FAO PaperNo24,* 144pp.
8. Andriotis, S., 2005. *Agricultural Supplies Trading*, http://www.andriotis-seeds.gr, 2pp.
9. Σφήκας, Γ., Α., 1995. *Ειδική Γεωργία ΙΙ Βιομηχανικά φυτά*, Εκδόσεις Υπηρεσία Δημοσιευμάτων Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, σελ. 10-11.
10. Bhattarai, S., McHugh, J., Lotz, G. and Midmore D, 2003. Physiological responses of cotton to subsurface drip irrigation on heavy clay soil, http://www.regional.org.au/au/asa/2003/p/4/bhattarai.htm, 2pp.
11. Harris, G., A., 2005. Subsurface Drip Irrigation (SDI) – System Maintenance, http://www2.dpi.qld.gov.au/fieldcrops/17653.html.

(147)

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΥΠΟΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗΣ ΣΤΑΓΔΗΝ ΑΡΔΕΥΣΗΣ ΣΕ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΖΑΧΑΡΟΤΕΥΤΛΩΝ

Μ. Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη, Κ. Α. Δημοπούλου, Θ. Βούλγαρης
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Γεωπονίας, Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, Εργαστήριο Γεωργικής Υδραυλικής
Οδός Φυτόκου, 38446, Νέα Ιωνία, Μαγνησίας
e-mail: roidimop@hotmail.com, hydrolab@agr.uth.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σε πείραμα που εγκαταστάθηκε στο αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας τα έτη 2003 και 2004, μελετήθηκε η επίδραση της υπόγειας και της επιφανειακής στάγδην άρδευσης στα παραγωγικά χαρακτηριστικά καλλιέργειας ζαχαροτεύτλων,. Η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων έδειξε αύξηση του στρεμματοζαχάρου και μείωση της περιεκτικότητας των μελασογόνων συστατικών της ρίζας, καθώς και υψηλότερες τιμές εδαφικής υγρασίας σε μεγαλύτερα βάθη, κάτω από συνθήκες υπόγειας στάγδην άρδευσης.

SURFACE AND SUBSURFACE DRIP IRRIGATION COMPARISON STUDIES ON SUGAR BEET CROP

M. Sakellariou-Makrantonaki, K. A. Dimopoulou, Th. Boulgaris
University of Thessaly, Department of Agriculture, Crop Production and Rural Environment, Laboratory of Agricultural Hydraulics, Fytokou Street, 38446 Nea Ionia Magnesias, Greece. e-mail: roidimop@hotmail.com

ABSTRACT

In order to study the effects of surface and subsurface drip irrigation methods on sugar beet yield parameters, two field experiments were conducted in the farm of University of Thessaly during the growing seasons of 2003 and 2004. The results show high sucrose yield and reduction of melassigenic components in roots under subsurface drip irrigation. Also, under subsurface application, soil moisture values were higher with depth compared to surface drip.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η υπόγεια στάγδην άρδευση θεωρείται, ότι είναι η νεότερη και ενδεχομένως η πολυπλοκότερη και αποδοτικότερη μέθοδος άρδευσης [1]. Οι Carter & Howell [2], αναφέρουν την ύπαρξη υπόγειας άρδευσης σταλαγματιάς από το 1860, χωρίς όμως να έχει πρακτική εφαρμογή. Αρχικά το σύστημα υπόγειας άρδευσης χρησιμοποιήθηκε για την άρδευση καλλιεργειών μεγάλης αγρονομικής αξίας, όπως τα λαχανικά, τα φρούτα τα καρύδια, το ζαχαροκάλαμο. Όταν η αξιοπιστία και η μακροβιότητα του συστήματος βελτιώθηκε, η χρήση του επεκτάθηκε και σε καλλιέργειες μικρότερης αγρονομικής αξίας. Αυτό έγινε, κατά κύριο λόγο, γιατί το σύστημα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για περισσότερα έτη, μειώνοντας έτσι το ετήσιο κόστος άρδευσης [3].

Σημαντικά πλεονεκτήματα του συστήματος υπόγειας στάγδην άρδευσης είναι η μείωση των απωλειών λόγω εξάτμισης, η μηδενική απορροή [4], η εφαρμογή θρεπτικών ουσιών με μεγαλύτερη ακρίβεια [5], [1], η μείωση της αλατότητας στην περιοχή του ενεργού ριζοστρώματος [6], η δυνατότητα καλύτερου ελέγχου των ζιζανίων, η μείωση της εμφάνισης ασθενειών που ευνοούνται από την υγρασία στην επιφάνεια του εδάφους και γενικότερα η δημιουργία ευνοϊκότερων συνθηκών για το περιβάλλον του φυτού [7], [8], [9].

Τα κυριότερα μειονεκτήματα του συστήματος είναι το μεγάλο κόστος εγκατάστασης, η δυσκολία ελέγχου του υπογείου συστήματος και η απόφραξη των σταλακτήρων από τα φερτά υλικά [10].

Οι Neibling & Gallian [8], αναφέρουν παραγωγή ζαχαρότευτλων κατά 10% περίπου αυξημένη κάτω από συνθήκες υπόγειας στάγδην άρδευσης συγκριτικά με το σύστημα του περιστροφικού αρδευτή (center pivot).

Οι Sakellariou – Makrantonaki et al., [11], σε προηγούμενη πειραματική διαδικασία, αναφέρουν αύξηση της υγρασίας στη ζώνη του ριζοστρώματος σε καλλιέργεια ζαχαρότευτλων και αύξηση του βάρους ριζών και του ζαχαρικού τίτλου κάτω από συνθήκες υπόγειας άρδευσης σε σύγκριση με την επιφανειακή.

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η σύγκριση και αξιολόγηση της υπόγειας και επιφανειακής στάγδην άρδευσης όσον αφορά την επίδρασή τους στα παραγωγικά χαρακτηριστικά καλλιέργειας ζαχαροτεύτλων.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Η επίδραση στα παραγωγικά χαρακτηριστικά καλλιέργειας ζαχαροτεύτλων της υπόγειας και της επιφανειακής άρδευσης με σταγόνα σε ίδιες δόσεις εφαρμογής νερού, μελετήθηκε σε πείραμα αγρού στο αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας (Γ.Π. 39° 23΄, Γ.Μ. 22° 45΄ και υψόμετρο +50 m από την επιφάνεια της θάλασσας), κατά την καλλιεργητική περίοδο των ετών 2003 και 2004, σε έδαφος καλά στραγγιζόμενο, ασβεστούχο, ιλυο-αργιλοπηλώδες που ανήκει στην υπο-ομάδα των Typic Xerochrepts (USDA, 1975) [12]. Το πειραματικό σχέδιο ήταν Πλήρως Τυχαιοποιημένων Ομάδων με δύο μεταχειρίσεις Υπόγεια Στάγδην Άρδευση (ΥΣΑ) και Επιφανειακή Στάγδην Άρδευση (ΕΣΑ) σε τέσσερις επαναλήψεις. Η εφαρμοζόμενη ποσότητα ύδατος ήταν ίση με το 80% των αναγκών της καλλιέργειας με βάση τις υπολογιζόμενες τιμές της εξατμισοδιαπνοής και το εύρος άρδευσης ήταν τέτοιο, ώστε το άθροισμα των ημερησίων καθαρών αναγκών της καλλιέργειας να ισοδυναμεί με την υπολογιζόμενη δόση άρδευσης.

Οι σταλακτηφόροι αγωγοί του υπόγειου και του επιφανειακού δικτύου ήταν από πολυαιθυλένιο διαμέτρου 20 mm. Οι σταλακτήρες ήταν αυτορυθμιζόμενοι και αυτοκαθαριζόμενοι, με ισαποχή 0,6 m επί των σταλακτηφόρων αγωγών και παροχή 3,6 l/h σε πίεση λειτουργίας από 0,5 έως 4,0 atm. Σε κάθε πειραματικό τεμάχιο

τοποθετήθηκαν τρεις σταλακτηφόροι αγωγοί σε απόσταση 1,5 m μεταξύ των. Τοποθετήθηκε μία ηλεκτροβάνα για κάθε μεταχείριση, ώστε να αυτοματοποιηθεί η έναρξη και διακοπή της άρδευσης και υδρομετρητές σε κάθε πειραματικό τεμάχιο. Οι ηλεκτροβάνες συνδέθηκαν με ειδικό προγραμματιστή άρδευσης (miracle DC) της εταιρείας Netafim. Το νερό για την άρδευση προερχόταν από παρακείμενη γεώτρηση (αντλία μέσης παροχής 60 – 80 m^3/h με άξονα και σωλήνα 4΄΄). Επίσης τοποθετήθηκε αντλία προώθησης του νερού στα αρδευτικά δίκτυα, φίλτρα, βαλβίδα κενού, αγωγός επιστρεφόμενων, πιεζόμετρο κ.ά. Το υπόγειο δίκτυο τοποθετήθηκε σε βάθος 45cm από την επιφάνεια του εδάφους.

Ο προσδιορισμός της εδαφικής υγρασίας πριν και 2 ημέρες μετά από κάθε άρδευση έγινε με την μέθοδο T. D. R. (Time Domain Reflectometry). Η μέτρηση της εξάτμισης, απαραίτητης για τον υπολογισμό των αναγκών άρδευσης της καλλιέργειας, έγινε με την βοήθεια του εξατμισιμέτρου τύπου Α. Η εκτίμηση του Δείκτη Φυλλικής Επιφάνειας πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του αυτόματου οργάνου εμβαδομέτρησης LI – COR. Η καταγραφή των μετεωρολογικών δεδομένων (ημερήσια θερμοκρασία του αέρα και βροχόπτωση) γινόταν σε ωριαία βάση καθ' όλη τη διάρκεια του 24ώρου. Η συλλογή τους έγινε με τη βοήθεια data logger και η επεξεργασία τους με το πρόγραμμα Excel της Microsoft.

Σε κάθε πειραματικό τεμάχιο, συγκομίζονταν και αποκορυφώνονταν, με το χέρι, δύο γειτονικές γραμμές μήκους 3 m (επιφάνεια 3 m^2). Η επιλογή των γραμμών γινόταν από το μέσο του πειραματικού τεμαχίου και έτσι ώστε, η μία να γειτνιάζει με σταλακτηφόρο αγωγό, ενώ η άλλη όχι. Μετρήθηκε ο αριθμός ριζών κάθε τεμαχίου και ζυγίστηκαν τα νωπά βάρη του υπεργείου (φύλλα και κορυφές) και υπογείου τμήματος (ριζών). Από κάθε πειραματικό τεμάχιο, ένα δείγμα ριζών, βάρους ~15kg, στάλθηκε στο Χημείο του Εργοστασίου Λάρισας της Ελληνικής Βιομηχανίας Ζάχαρης Α.Ε., όπου προσδιορίστηκαν ο ζαχαρικός τίτλος (Pol, ζαχαρόζη % του νωπού βάρους) και η συγκέντρωση των μελασογόνων ουσιών (K, Να, α-N) με τη χρήση ζυγού Venema (Venema automation b.v., Groningen, Holland) και συστήματος ανάλυσης BETALYSER® (Dr Wolfgang Kernchen GmbH, Seelze, Germany). Ο υπολογισμός της χρηματικής αξίας της παραγωγής έγινε με βάση τον Πίνακα Τιμών Ζαχαροτεύτλων έτους 2003 και 2004 της Ελληνικής Βιομηχανίας Ζάχαρης Α.Ε.

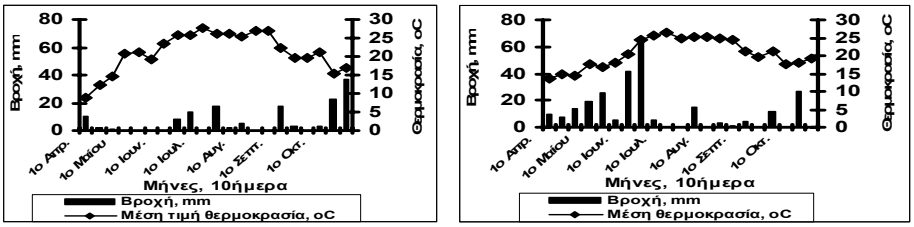
Έγινε σύγκριση των παραλλακτικοτήτων των τιμών των δύο μεταχειρίσεων χρησιμοποιώντας την F – κατανομή και εκτιμήθηκε η διαφορά των μέσων όρων με την βοήθεια του t – test σε επίπεδο σημαντικότητας 0,05. Επίσης, προσδιορίστηκαν οι τυπικές αποκλίσεις των τιμών των δύο μεταχειρίσεων, καθώς και η τυπική απόκλιση της διαφοράς των δύο μέσων όρων. Χρησιμοποιήθηκε το στατιστικό πακέτο M-STAT (MSTAT-C, version 1.41, Crop and Soil Sciences Department, Michigan State University).

Ο προγραμματισμός της δόσης άρδευσης έγινε τηρουμένων των προδιαγραφών (παροχή σταλακτήρων, ωριαίο ύψος ισοδύναμης βροχόπτωσης, διαστάσεις γραμμών άρδευσης και ισαποχή σταλακτήρων επί των γραμμών) για την κάθε μεταχείριση χωριστά, με βάση τους μετρούμενους ρυθμούς ημερήσιας εξάτμισης.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΣΥΖΗΤΗΣΗ

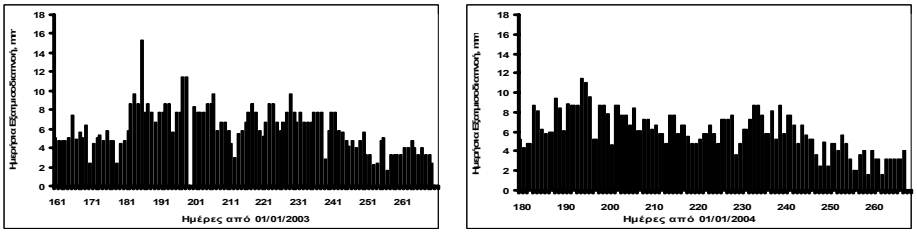
3.1 Κλιματικά δεδομένα

Στα Σχήματα 1 και 2 παρουσιάζονται, ανά 10ήμερο, οι τιμές της βροχόπτωσης και της μέσης θερμοκρασίας του 24ώρου και η εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας κατά την διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου για τα έτη 2003 και 2004 στην περιοχή του Βελεστίνου Μαγνησίας, όπου διεξήχθη το πείραμα.



(α) (β)

Σχήμα 1. Τιμές βροχόπτωσης και μέσης θερμοκρασίας 24ώρου ανά 10ήμερο κατά τη καλλιεργητική περίοδο των ετών 2003 (α) και 2004 (β).

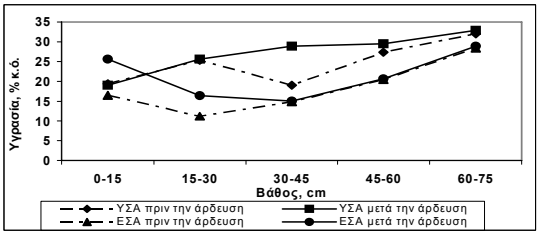


(α) (β)

Σχήμα 2. Ημερήσια εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας κατά την καλλιεργητική περίοδο των ετών 2003 (α) και 2004 (β).

3.2 Υγρασία εδάφους

Παρατηρήθηκε σαφής διαφοροποίηση του μετώπου της υγρασίας στο έδαφος ανάμεσα στις δύο μεταχειρίσεις. Στο Σχήμα 3 παρουσιάζονται ενδεικτικά τα μέτωπα εδαφικής υγρασίας των δύο μεταχειρίσεων κατά τις μετρήσεις στις 7/7/03 (πριν την άρδευση και 9/7/03 (μετά την άρδευση). Ανάλογα διαμορφώνονταν τα μέτωπα εδαφικής υγρασίας και στις υπόλοιπες μετρήσεις και στα δύο καλλιεργητικά έτη.



Σχήμα 3. Μέτωπα εδαφικής υγρασίας των δύο μεταχειρίσεων άρδευσης.

Στην ΥΣΑ η υγρασία την δεύτερη ημέρα μετά την άρδευση ήταν αυξημένη στο βάθος 30 – 60 cm, γύρω δηλαδή από το βάθος όπου έχουν τοποθετηθεί οι σταλάκτες, ενώ μειώνεται ελάχιστα κοντά στην επιφάνεια του εδάφους. Αυτό έχει ως συνέπεια, το χορηγούμενο νερό να είναι πιο εύκολα διαθέσιμο για πρόσληψη από τις ρίζες των φυτών. Αντίθετα, στην ΕΣΑ η υγρασία μετά την άρδευση αυξάνεται στο επιφανειακό στρώμα του εδάφους και μέχρι βάθους 45 cm ακολουθώντας φθίνουσα πορεία, ενώ δεν παρατηρείται καμία αξιόλογη μεταβολή σε μεγαλύτερα βάθη.

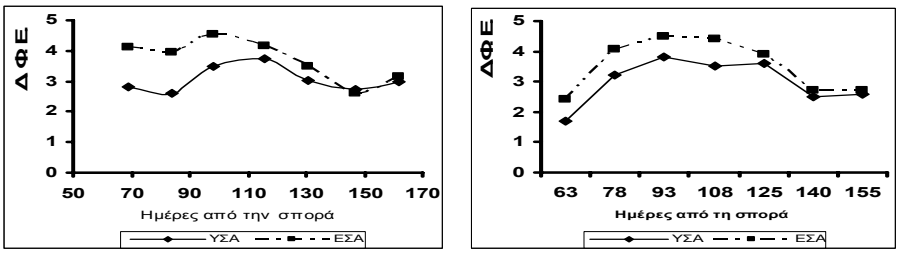
Επίσης, οι τιμές της μεταβολής της υγρασίας στη ΥΣΑ βρίσκονται πάνω από το σημείο μόνιμης μάρανσης (PWP = 14,32 % κ.ο.) και κοντά στην υδατοϊκανότητα (FC=26,08 % κ.ο.), ενώ δεν συμβαίνει το ίδιο στην ΕΣΑ. Αυτό δείχνει, ότι το τμήμα της

καλλιέργειας (πειραματικά τεμάχια), όπου εφαρμόσθηκε η υπόγεια στάγδην άρδευση, δεν βρέθηκε ποτέ σε κατάσταση υδατικής καταπόνησης.

Τα αποτελέσματα αυτά έρχονται σε συμφωνία με την διαπίστωση των Neibling & Gallian [8], για την ικανότητα του συστήματος άρδευσης με υπόγειους σταλακτηφόρους αγωγούς να διατηρεί την εδαφική υγρασία στο βάθος των 30 – 45 cm, σε επίπεδα τέτοια ώστε η τιμή της να μην υπερβαίνει ποτέ τα 50 cbars (ένδειξη τενσιομέτρου), τιμή πάνω από την οποία το έδαφος χαρακτηρίζεται ξηρό στους περισσότερους τύπους εδαφών. Ανάλογη διαπίστωση αναφέρουν και οι Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη κ.ά., [13], μετά από πειραματική καλλιέργεια στην ίδια περιοχή.

3.3 Δείκτης Φυλλικής Επιφάνειας

Ο κύριος στόχος σε μια καλλιέργεια ζαχαρότευτλων για την αύξηση της παραγωγικότητας είναι να επιτευχθεί η μέγιστη δυνατή δέσμευση της ηλιακής ακτινοβολίας, η οποία συνδέεται άμεσα με τον Δείκτη Φυλλικής Επιφάνειας (ΔΦΕ). Το 85-95% του προσπίπτοντος φωτός δεσμεύεται με ΔΦΕ μόνο 3 ή 4 [14], τιμή που επιτεύχθηκε και στις δύο μεταχειρίσεις. Πραγματοποιήθηκαν 7 μετρήσεις ανά 15ήμερο.



(α) (β)

Σχήμα 4. Εξέλιξη του Δείκτη Φυλλικής Επιφάνειας κατά την ανάπτυξη της καλλιέργειας τα έτη 2003 (α) και 2004 (β).

Στο Σχήμα 4 φαίνεται η εξέλιξη του ΔΦΕ στις δύο μεταχειρίσεις. Στην υπόγεια στάγδην άρδευση (ΥΣΑ) η Φυλλική Επιφάνεια διατηρήθηκε σε χαμηλότερα επίπεδα σχεδόν μέχρι το χρόνο συγκομιδής.

3.4 Ποσότητα νερού άρδευσης

Η συνολική ποσότητα ύδατος που χορηγήθηκε μέσω άρδευσης ήταν 485,5 mm το έτος 2003 και 414,5 mm το έτος 2004, ποσότητα κατά 20% λιγότερη από τις ανάγκες της καλλιέργειας σε νερό που προσδιορίσθηκαν βάση της εξατμισοδιαπνοής. Ένα επιπλέον ποσό ύδατος δέχθηκε η καλλιέργεια από βροχόπτωση κατά την διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου, το ωφέλιμο ύψος της οποίας ήταν ~82 mm το έτος 2003 και ~147 mm το έτος 2004. Πειραματικά αποτελέσματα της Ελληνικής Βιομηχανίας Ζάχαρης προσδιορίζουν τις συνολικές ανάγκες των ζαχαρότευτλων σε νερό με στόχο την οικονομικότερη απόδοση, σε 610 m^3/στρ. στην πεδιάδα της Θεσσαλίας με διακύμανση περίπου ±10%, που οφείλεται στις μεταβολές του καιρού από χρόνο σε χρόνο [15].

3.5 Παραγωγικά αποτελέσματα

Η στατιστική αξιολόγηση των αποτελεσμάτων παρουσιάζεται στους παρακάτω *Πίνακες 1* και *2*.

Πίνακας 1. Περιγραφικά στατιστικά στοιχεία και F-test.

Παραγωγικά χαρακτηριστικά	ΥΣΑ				ΕΣΑ				F		$P_{0,05}$	
	Μ.Ο.		Τυπική απόκλιση		Μ.Ο.		Τυπική απόκλιση					
	2003	2004	2003	2004	2003	2004	2003	2004	2003	2004	2003	2004
Αρ. Ριζών	10750	11500	569,1	1000	10750	11500	319,3	1000	3,1781	1,0000	0,3677	1,0000
Βάρος Φ+Κ	2521,5	2962,5	217,5	242,8	3004,3	3941,3	110,1	95,3	3,9062	6,4983	0,2926	0,1586
Βάρος Ριζών	7770,8	9833,8	535,8	291,8	7524,3	10888,8	776,4	1098,2	2,1000	14,1690	0,5579	0,0563
Ζαχ.Τίτλος	17,01	17,00	0,491	0,460	16,47	15,77	0,185	0,630	7,0427	1,8780	0,1432	0,6177
Στρ/ζάχαρο	1320,3	1671,70	61,6	74,72	1240,0	1713,82	132,5	135,44	4,6335	3,2853	0,2399	0,3547
Αξία αγοράς	453,05	573,96	17,47	32,03	418,75	564,42	45,706	41,40	6,8434	1,6703	0,1485	0,6838
Κάλιο	1109,07	1344,39	84,78	27,81	1203,48	1461,61	141,248	153,02	2,7757	30,2845	0,4241	0,0192
Νάτριο	307,77	346,77	40,34	40,25	335,24	401,41	33,695	57,88	1,4331	1,8595	0,7746	0,6231
α-amino N	442,81	307,52	16,86	40,79	466,93	327,13	27,664	55,90	2,6929	1,8780	0,4375	0,6177

Πίνακας 2. Σύγκριση των μέσων όρων με το t-test.

Παραγωγικά χαρακτηριστικά	t		Τυπική απόκλιση διαφοράς μέσων όρων		ΒΕ		$P_{0,05}$	
	2003	2004	2003	2004	2003	2004	2003	2004
Αρ. Ριζών	0,0000	0,0000	235,4666	816,4966	3	3	1,0000	1,0000
Βάρος Φ+Κ	-6,8138	-13,2458	70,8489	73,8911	3	3	0,0065	0,0009
Βάρος Ριζών	0,4465	-1,8871	552,0840	559,0654	3	3	0,6855	0,1556
Ζαχαρικός Τίτλος	1,6742	2,8306	0,3210	0,4328	3	3	0,1927	0,0662
Στρεμματοζάχαρο	0,9596	-0,4667	83,6305	90,2501	3	3	0,4081	0,6725
Αξία αγοράς	1,2369	0,2851	27,7339	33,4511	3	3	0,3041	0,7941
Κάλιο	-2,0246	-1,4657	46,6317	79,9779	3	3	0,1360	0,239
Νάτριο	-0,9522	-1,4461	28,8530	37,7837	3	3	0,4112	0,2439
α-amino N	-1,1950	-0,4571	20,1906	42,8856	3	3	0,3179	0,6786

Ο αριθμός ριζών/στρ. δεν παρουσίασε σημαντικές διαφορές ανάμεσα στις μεταχειρίσεις. Αυτό άλλωστε ήταν αναμενόμενο, αφού υπήρχε καλή ομοιομορφία φυτρώματος στον αγρό. Για τις δεδομένες αποστάσεις σποράς (50 cm μεταξύ των γραμμών και 15 cm επί της γραμμής) υπολογίζεται η φυτρωτική ικανότητα σε ποσοστό περίπου 80% [16].

Μεγαλύτερο βάρος Φύλλων και Κορυφών (Kg/στρ.) εμφανίζεται στην μεταχείριση της επιφανειακής στάγδην άρδευσης (ΕΣΑ) και μάλιστα με στατιστικώς σημαντική διαφορά. Το αποτέλεσμα αυτό έρχεται σε συμφωνία και με τον μέσο όρο των τιμών από όλες τις μετρήσεις του ΔΦΕ, όπου στη μεταχείριση ΕΣΑ η τιμή είναι μεγαλύτερη.

Στην ΥΣΑ επιτεύχθηκε υψηλότερος ζαχαρικός τίτλος (^{o}S) και κατά τα δύο έτη καλλιέργειας, χωρίς όμως να προκύπτει στατιστικώς σημαντική διαφορά, ενώ τα βάρη ριζών (Kg/στρ.) φαίνεται να κυμαίνονται στα ίδια περίπου επίπεδα μεταξύ των μεταχειρίσεων. Συνέπεια του υψηλότερου ζαχαρικού τίτλου της μεταχείρισης ΥΣΑ έναντι της ΕΣΑ, είναι η επίτευξη μεγαλύτερης αξίας αγοράς τεύτλων (€/στρ.) για την Υπόγεια μεταχείριση ακόμα και στην περίπτωση όπου το στρεμματοζάχαρο (Kg ζάχαρης/στρ.) ήταν μεγαλύτερο στην ΕΣΑ το έτος 2004.

Η περιεκτικότητα των στοιχείων K, Na και α-αμίνο N στις ρίζες των ζαχαρότευτλων χρησιμοποιείται στην προσπάθεια περιγραφής της χημικής ποιότητας των ριζών και ως εκ τούτου στην ανάκτησης μεγαλυτέρου ποσοστού ζάχαρης από τον χυμό κατά την διαδικασία της κρυστάλλωσης [17]. Μεταξύ των μεταχειρίσεων δεν σημειώθηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές, όσον αφορά τα μελασογόνα συστατικά (Πιν. 1, 2). Εν τούτοις, στην ΥΣΑ σημειώθηκαν μικρότερες τιμές στην περιεκτικότητα των μελασογόνων συστατικών στις ρίζες, γεγονός που χρήζει περαιτέρω διερεύνηση.

Σύμφωνα με τους Milford et al. [18], οι εμπορικά αποδεκτές συγκεντρώσεις K στη ρίζα του ζαχαρότευτλου είναι 700 – 1000 mgr K / 100 g ζάχαρης. Οι συγκεντρώσεις πάνω από τα όρια αυτά μειώνουν το ποσό της ζάχαρης που κρυσταλλώνεται από το χυμό. Σχετικά με το Na, ο Barbanti [19] καθόρισε τα όρια της συγκέντρωσής του στις ρίζες των τεύτλων στη Βόρεια Ιταλία σε 140 mgr / 100 g ζάχαρης. Τέλος, σύμφωνα με τους Palmer et al. [20], τα αποδεκτά όρια του α-αμίνο N στις ρίζες των τεύτλων στα ανόργανα εδάφη είναι 150 mgr / 100 g ζάχαρης και στα οργανικά εδάφη 200 mgr / 100 g ζάχαρης.

Κάτω από ελληνικές συνθήκες οι Tsialtas & Maslaris [21], αναφέρουν συγκεντρώσεις K, Na και α-αμίνο N στις ρίζες των τεύτλων σε πολύ υψηλότερα επίπεδα από τα αποδεκτά όρια που αναφέρθηκαν. Ανάλογα είναι και τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Παρουσιάζεται σαφής διαφοροποίηση στο μέτωπο της εδαφικής υγρασίας σε σύγκριση υπόγειας και επιφανειακής στάγδην άρδευσης σε καλλιέργεια ζαχαροτεύτλων. Ο Δείκτης Φυλλικής Επιφάνειας διατηρήθηκε σε χαμηλότερα επίπεδα στην υπόγεια στάγδην άρδευση και το βάρος φύλλων και κορυφών κατά την συγκομιδή του πειράματος έδωσε στατιστικώς σημαντική διαφορά υπέρ της επιφανειακής μεθόδου. Στα υπόλοιπα παραγωγικά χαρακτηριστικά, παρά το γεγονός ότι δεν σημειώθηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές, η υπόγεια στάγδην άρδευση οδήγησε σε επίτευξη υψηλότερης αξίας αγοράς τεύτλων, λόγω του υψηλότερου ζαχαρικού τίτλου. Η περιεκτικότητα των μελασογόνων συστατικών στις ρίζες ήταν λίγο μικρότερη στην υπόγεια μεταχείριση και δεδομένου του ρόλου τους στην διαδικασία της κρυστάλλωσης, το αποτέλεσμα αυτό απαιτεί περαιτέρω διερεύνηση.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Phene, J. C. (1999). Subsurface drip irrigation. Part I: Why and How? *Irrigation Journal*. April 1999.
2. Carter, A. and Howell, J. (2000). *An Overview of drip irrigation*. Department of Plant and Soil Sciences, University of Massachusetts. Also available in h*ttp://www.umassdroughtinfo.org*
3. Camp, R. C., Lamm R. F., Evans, G. R. and Phene, J. C. (2000). Subsurface drip irrigation – Past, Present and Future. *Proceedings of the 4th Decennial National Irrigation Symposium*, Nov. 14-16, Phoenix AZ. pp 363-372.
4. Zoldoske, F. D., Genito, S. and Jorgensen, S. G. (1995). *Subsurface Drip Irrigation (SDI) on Turfgrass*: A University Esperience. CATI Publication #950104.
5. Lamm, R. F., Schlegel, J. A. and Clark, A. G. (1997). Optimum nitrogen fertigation for corn using SDI. *A condensation of ASAE Paper No. 972174*, *Nitrogen Fertigation for Corn Using SDI: A BMP*, first presented at the ASAE International Meeting, August 10-14, Minneapolis, Minnesota.
6. Al-Omran, M. A., Sheta, S. A., Falatah, M. A. and Al-Harbi, R. A. (2005). Effect of drip irrigation on squash (Cucurbita pepo) yield and water-use efficiency in sandy calcareous soils amended with clay deposits. *Agricultural Water Management*, 73 (1), p.43-55, Apr 2005.
7. Jorgensen, G. (1995). *Subsurface drip irrigation eyed as aid in weed control*. CATI Publication #950701.
8. Neibling, W. H. and Gallian, J. J. (1997). *Irrigation Water Management in Sugarbeet Production*. Presented at Sugarbeet Schools on January 27-31, 1997. Also available in *http://www.uidaho.edu/sugarbeet/irrg/irrgbeet.htm*

9. Bell, A. A., Liu, L., Reidy, B., Davis, M. R. and Subbarao, V. K. (1998). Mechanismus of Subsurface Drip Irrigation-Mediated Suppression of Lettuce Drop Caused by Sclerotinia minor. *Phytopathology*, 1998.
10. Vyrlas, P., 1992. *Blockage due to suck-back in buried inline trickle emitters*. MSc Thesis, Silsoe College, Cranfield University, U.K.
11. Sakellariou-Maktantonaki, M., Kalfountzos, D. and Vyrlas, P. (2002). Water saving and yield increase of sugar beet with subsurface drip irrigation. *Global Nest: The International Journal*. 4 (2-3), pp 85-91.
12. 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.
13. Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη, Μ., Καλφούντζος, Δ. και Παπανίκος, Ν. (2000). Αξιολόγηση της επιφανειακής και υπόγειας στάγδην άρδευσης σε καλλιέργεια ζαχαρότευτλων. *Πρακτικά 2ου Εθνικού Συνεδρίου Εταιρείας Γεωργικών Μηχανικών Ελλάδος (ΕΓΜΕ)*, 28-30 Σεπτεμβρίου, Βόλος, σελ. 157-164.
14. Scott, K. R. and Jaggard, W. K. (1993). Crop physiology and agronomy. In D. A. Cooke and R. K. Scott (Eds.) *The Sugar Beet Crop*. pp. 179-237. Chapman & Hall, London, UK.
15. Ελληνική Βιομηχανία Ζάχαρης ΑΕ (1997). *Το πότισμα των ζαχαροτεύτλων*, σελ. 24.
16. Ελληνική Βιομηχανία Ζάχαρης ΑΕ (2001). *Ανοιξιάτικη προετοιμασία χωραφιού και σπορά τεύτλων*, σελ. 8.
17. Harvey, W. C. and Dutton, V. J. (1993). Root quality and processing. In D. A. Cooke and R. K. Scott (Eds.) *The Sugar Beet Crop*. pp. 571-617. Chapman & Hall, London, UK.
18. Milford, G. F. J., Armstrong, J. M., Jarvis, J. P., Houghton, J. B., Bellett-Travers, M. D., Jones, J. and Leigh, A. R. (2000). Effect of potassium fertilizer on the yield, quality and potassium offtake of sugar beet crops grown on soils of different potassium status. *The Journal of Agricultural Science*. 135, pp 1-10.
19. Barbanti, L. (1994). New methods of recommending N-ferilizer use to sugar bet in the Mediterranean area. In Anonymous, eds. *Proceedings of the 57th IIRB Congress,* Brussels, pp. 281-294. International Institute for Beet Research, Brussels, Belgium.
20. Palmer, M. and Casburn, C. (1985). *Amino nitrogen analyses – factory experiences*. British Sugar Beet Review 53, pp 73-76.
21. Tsialtas, T. J. and Maslaris, N. (2005). Effect of N Fertilization Rate on Sugar Yield and Non-Sugar Impurities of Sugar Beets (Beta vulgaris) Grown Under Mediterranean Conditions. *J. Agronomy & Crop Science*. 191 (5), p. 330-339.

(150)

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΚΟΠΤΟΜΕΝΗΣ ΣΤΑΓΔΗΝ ΑΡΔΕΥΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΡΟΩΘΗΣΗ ΤΟΥ ΜΕΤΩΠΟΥ ΔΙΑΒΡΟΧΗΣ ΚΑΙ ΣΤΙΣ ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΝΕΡΟΥ ΛΟΓΩ ΒΑΘΙΑΣ ΔΙΗΘΗΣΗΣ

Ε. Διαμαντόπουλος, Σ. Ελμαλόγλου
Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών – Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής - Εργαστήριο Γεωργικής Υδραυλική., Ιερά Οδός 75 - 11855, Αθήνα, e-mail: stathis.diamantopoulos@gmail.com, elma@aua.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται η επίδραση της διακοπτόμενης στάγδην άρδευσης στην προώθηση του μετώπου διαβροχής και στις απώλειες λόγω βαθιάς διήθησης. Τα αριθμητικά αποτελέσματα δείχνουν ότι για το ίδιο έδαφος, την ίδια παροχή και για χρόνο ίσο με το χρόνο άρδευσης η κατακόρυφη συνιστώσα του μετώπου διαβροχής είναι μεγαλύτερη στη περίπτωση της διακοπτόμενης άρδευσης. Παρόλα αυτά, οι διαφορές αυτές πρακτικά εξαλείφονται για μεγαλύτερους χρόνους. Επίσης στο χρόνο που αντιστοιχεί στο εύρος άρδευσης η βαθιά διήθηση στη διακοπτόμενη στάγδην άρδευση είναι ελαφρώς μικρότερη από ότι στη συνεχή.

EFFECT OF PULSE IRRIGATION ON THE WETTING FRONT AND ON WATER LOSSES BY DEEP PERCOLATION UNDER DRIP IRRIGATION

E. Diamantopoulos, S. Elmaloglou
Agricultural University of Athens - Department of Natural Resources Management & Agricultural Engineering., Iera Odos 75 - 11855 Athens, Greece,e-mail: stathis.diamantopoulos@gmail.com, elma@aua.gr

ABSTRACT

In this study, the effect of pulse drip irrigation on the wetting front advance patterns and on water losses by deep percolation is presented. The numerical results show that for the same soil, the same discharge rate and for time equal to irrigation duration the vertical component of the wetting front was dipper in the case of pulse irrigation. These different was practically eliminated for a longer time. Also, for time equal to irrigation duration deep percolation was slightly inferior using pulse irrigation than using continuous irrigation.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η άρδευση με σταγόνες χρησιμοποιείται στις μέρες μας σε μεγάλη κλίμακα και με μεγάλη επιτυχία. Το πλεονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι η διαβροχή ενός μικρού μόνο όγκου εδάφους σε μικρή απόσταση από το αρδευόμενο φυτό. Στη στάγδην άρδευση είναι πολύ σημαντικό να γνωρίζουμε το αποτέλεσμα της μεθόδου άρδευσης (συνεχής ή διακοπτόμενη) στη προώθηση του μετώπου διαβροχής καθώς επίσης και στις απώλειες λόγω βαθιάς διήθησης. Στη βιβλιογραφία υπάρχει ένας αρκετά μεγάλος αριθμός εργασιών οι οποίες ασχολούνται με μαθηματικά μοντέλα προσομοίωσης της συνεχούς στάγδην άρδευσης. [1, 2, 4, 6, 8, 9,12, 14, 15, 18, 19, 21, 22, 23]. Σε αντίθεση με τις παραπάνω εργασίες, υπάρχουν λίγες οι οποίες εξετάζουν την διακοπτόμενη άρδευση. Οι Levin et al. (1979) [10] και οι Mostaghimi et al. (1981) [11] μελέτησαν την επίδραση της παροχής και της διακοπτόμενης άρδευσης από επιφανειακή σημειακή πηγή στην δυναμική του εδαφικού νερού. Επίσης, οι Cote et al. (2003) [5] μελέτησαν την επίδραση που έχει η διακοπτόμενη άρδευση στο μέτωπο διαβροχής σε περίπτωση άρδευσης από υπόγεια σημειακή πηγή. Όλες οι παραπάνω εργασίες οι οποίες ασχολούνται με τη διακοπτόμενη άρδευση δεν λαμβάνουν υπόψη την εξάτμιση του νερού από την επιφάνεια του εδάφους, καθώς επίσης και τη πρόσληψη του εδαφικού νερού από τις ρίζες του αρδευόμενου φυτού.

Στη παρούσα εργασία εξετάζεται η επίδραση της διακοπτόμενης άρδευσης στη προώθηση του μετώπου διαβροχής καθώς επίσης και στις απώλειες του νερού κάτω από το ριζόστρωμα λόγω βαθιάς διήθησης. Το φυσικό φαινόμενο προσομοιώνεται με ένα μαθηματικό μοντέλο αξονικής συμμετρίας [6]. Η μερική διαφορική εξίσωση που το περιγράφει επιλύεται αριθμητικά με τη πεπλεγμένη μέθοδο εναλλασσομένων διευθύνσεων [13].

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Η παρακάτω ανάλυση στηρίζεται σε αριθμητικά αποτελέσματα από ένα μαθηματικό μοντέλο επιφανειακής σημειακής άρδευσης το οποίο λαμβάνει υπόψη την εξάτμιση του νερού από την επιφάνεια του εδάφους και τη πρόσληψη του εδαφικού νερού από τις ρίζες. Οι υποθέσεις που λαμβάνονται υπόψη ήταν αυτές του ομογενούς εδάφους και της απουσίας του φαινομένου της υστέρησης.

2.1. Υδροδυναμικά χαρακτηριστικά των υπό μελέτη εδαφών

Η εφαρμογή του μοντέλου γίνεται σε δύο εδάφη από τη βάση δεδομένων Rosetta [16], ένα πηλοαμμώδες (loamy sand) και ένα ιλυώδες (silt).

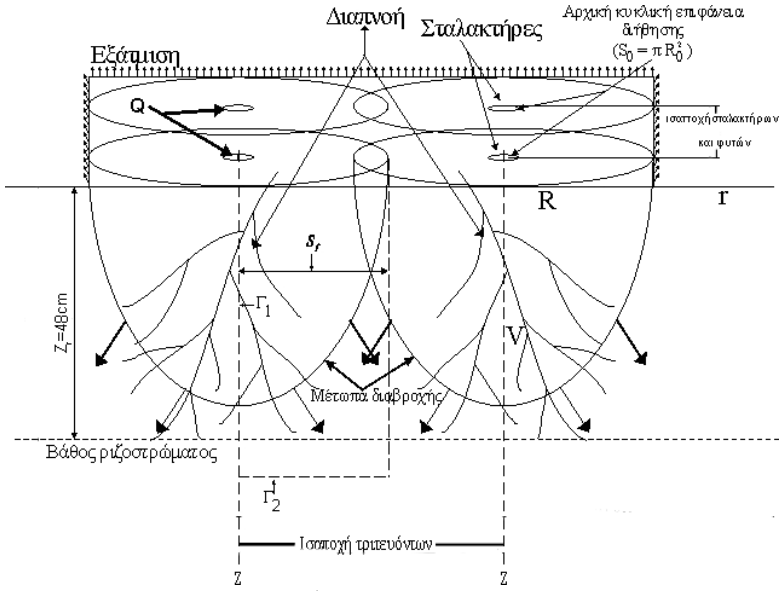
Οι αντίστοιχες τιμές των παραμέτρων που περιέχονται στις αναλυτικές εκφράσεις των σχέσεων $\Theta(H)$ και $K(H)$ του Van Genuchten (1980) [20] συνοψίζονται στον Πίνακα 1.

Πίνακας 1. Τιμές των παραμέτρων που υπεισέρχονται στις σχέσεις $\Theta(H)$ και $K(H)$ για τα δύο υπό εξέταση εδάφη [16]

Soil	α (1/cm)	n	Θ_s (cm^3/cm^3)	Θ_r (cm^3/cm^3)	K_s (cm/h)
loamy sand	0.03467	1.7378	0.390	0.049	4.383
silt	0.0066	1.6596	0.489	0.05	1.819

2.2. Το φυσικό μοντέλο

Στο *Σχήμα 1* παρουσιάζεται το φυσικό πρόβλημα σε τρεις διαστάσεις. Στην επιφάνεια του εδάφους εφαρμόζεται παροχή από σημειακή πηγή στάγδην άρδευσης, ακτίνας R_0. Η αξονική συμμετρία μας επιτρέπει να εξετάσουμε το φυσικό πρόβλημα πάνω σε ένα από τα άπειρα κατακόρυφα επίπεδα που διέρχονται από το κέντρο της κυκλικής λεκάνης και που ορίζονται από τους άξονες *r* και *z*.



Σχήμα 1. Το φυσικό ομοίωμα

2.3. Το μαθηματικό μοντέλο

Το μαθηματικό μοντέλο περιγράφεται λεπτομερώς στις εργασίες [6,7].

Η παροχή του σταλακτήρα είναι *Q* κατά το χρονικό διάστημα άρδευσης και *Q*=0 για το διάστημα μη άρδευσης.

Το βάθος του ριζοστρώματος είναι ίσο με 48cm. Η απόσταση μεταξύ των τριτευόντων αγωγών και μεταξύ των σταλακτήρων είναι 60cm. Οι τιμές της αρχικής υγρασίας Θ_i είναι 0.1641cm^3/cm^3 για το loamy sand και 0.1979cm^3/cm^3 για το silt αντίστοιχα. Οι παραπάνω τιμές επιλέγονται έτσι ώστε για χρόνο ίσο με το μηδέν, και τα δύο εδάφη να έχουν την ίδια τιμή ενεργού κορεσμού (effective saturation) Se, όπου:

$$Se = \frac{(\Theta(\mathrm{H}) - \Theta_r)}{(\Theta_s - \Theta_r)} \qquad (1)$$

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Στη παρούσα εργασία προσομοιώνεται η τοπική διήθηση και ανακατανομή για δύο παροχές του σταλακτήρα (*Q*=2 και 4 l/h), για δόση άρδευσης ίση με 18mm και για τα δύο εδάφη. Για την περίπτωση της διακοπτόμενης άρδευσης, το χρονικό διάστημα άρδευσης/παύσης είναι 1 ώρα.

Στα *Σχήματα 2(α), 2(γ), 3(α), 3(γ)* παρουσιάζεται το μέτωπο διαβροχής στη περίπτωση συνεχούς στάγδην άρδευσης σε τέσσερις διαφορετικούς χρόνους (t_i /2, t_i, 24h, t_{end}) για τα δύο εδάφη και για τις δύο παροχές. Στα *Σχήματα 2(β), 2(δ), 3(β), 3(δ)* παρουσιάζεται το μέτωπο διαβροχής στη περίπτωση διακοπτόμενης στάγδην άρδευσης

σε τρείς διαφορετικούς χρόνους (t_i, 24h, t_{end}) για τα ίδια εδάφη και για τις δύο παροχές. Η διάρκεια της άρδευσης t_i μεταβάλλεται ανάλογα με τη παροχή (*Πίνακας 2*).

Πίνακας 2. Συνδυασμοί παροχής και διάρκεια άρδευσης

Παροχή σταλακτήρα (l/h)	**Διάρκεια άρδευσης (h)**		**Δόση άρδευσης (mm)**
	Συνεχής	Διακοπτόμενη	
2	3.24	6.24	18
4	**1.62**	**2.62**	**18**

Ο συνολικός χρόνος προσομοίωσης t_{end} ορίζεται ως ο χρόνος που χρειάζεται για να επανέλθει η μέση υγρασία στο ριζόστρωμα (από z=0 έως 48cm) στην αρχική τιμή της.

Από τα *Σχήματα 2* και *3*, για την ίδια παροχή και για χρόνο ίσο με t_i, φαίνεται ότι το νερό κινείται πιο γρήγορα προς τα κάτω για το πιο ελαφρύ έδαφος και στις δύο περιπτώσεις.

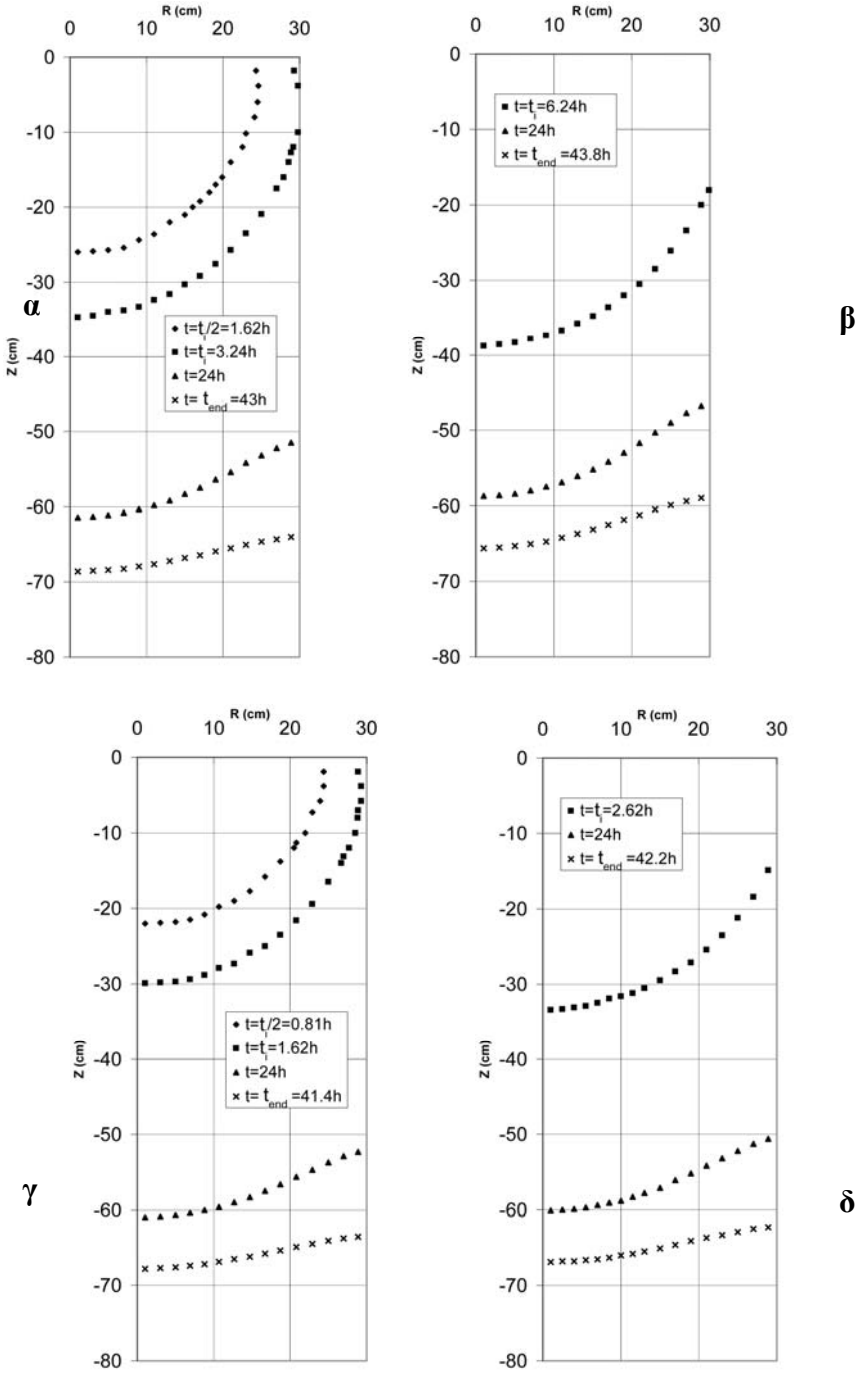
Από τα ίδια σχήματα και για χρόνο ίσο με t_i φαίνεται ότι η κατακόρυφη συνιστώσα του μετώπου διαβροχής είναι μεγαλύτερη για την περίπτωση της μικρής παροχής από ότι της μεγαλύτερης. Το συμπέρασμα αυτό είναι σε συμφωνία με τα αποτελέσματα των εργασιών [3,6]. Από τα *Σχήματα 2* και *3* παρατηρείται ότι για χρόνο ίσο με το χρόνο άρδευσης, η διακοπτόμενη άρδευση έχει σαν αποτέλεσμα βαθύτερη κίνηση της κατακόρυφης συνιστώσας του μετώπου διαβροχής. Παρόλα αυτά για χρόνο μεγαλύτερο από το χρόνο άρδευσης οι διαφορές μεταξύ της συνεχούς και της στάγδην άρδευσης εξαφανίζονται.

Στον *Πίνακα 3* δίνεται η βαθιά διήθηση στο χρόνο t_{end} κάτω από το ριζόστρωμα (48cm) σαν ποσοστό του εφαρμοζόμενου ύψους νερού, για τα δύο εδάφη και για τις δύο παροχές.

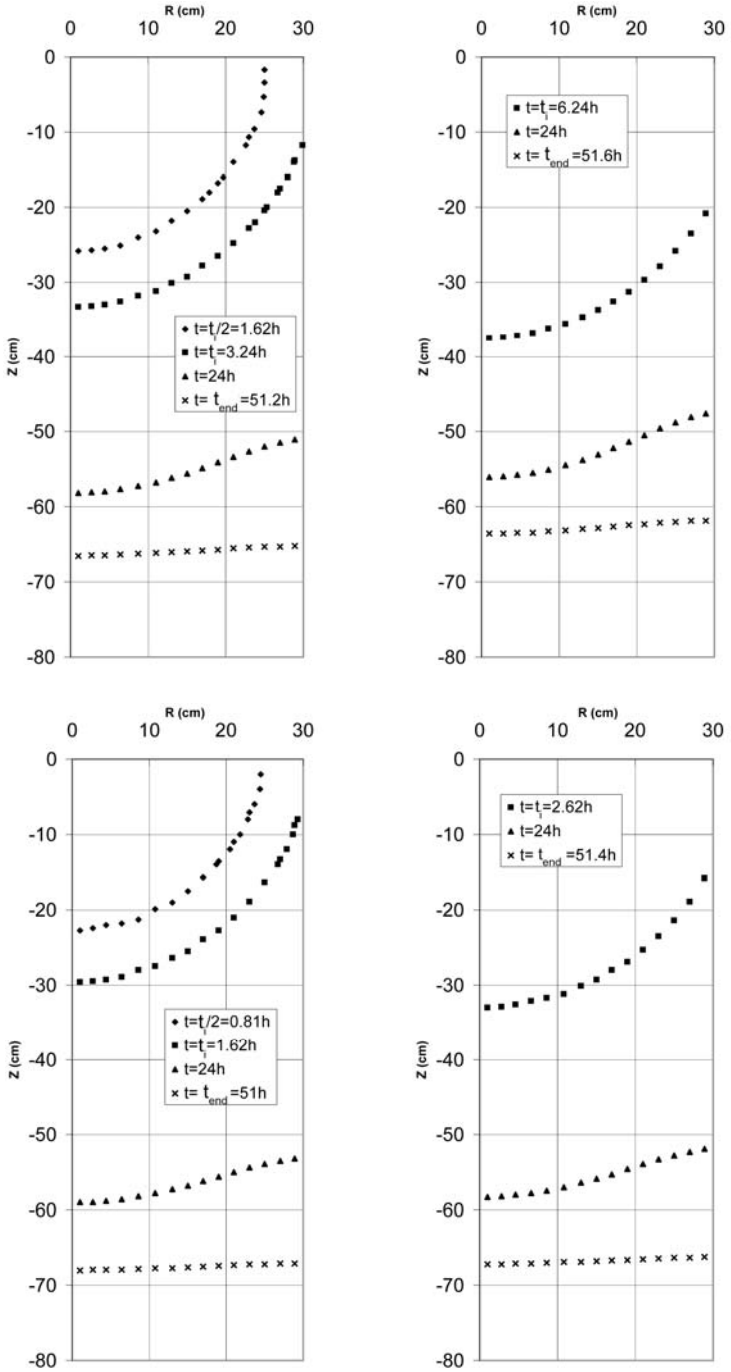
Πίνακας 3. Ύψος βαθιάς διήθησης για την περίπτωση συνεχούς και διακοπτόμενης άρδευσης ως ποσοστό του εφαρμοζόμενου ύψους νερού.

Παροχή σταλακτήρα (l/h)	**Συνεχής άρδευση**		**Διακοπτόμενη άρδευση**	
	loamy sand	silt	loamy sand	silt
2	12.0	5.1	10.6	4.5
4	**11.5**	**5.5**	**11.2**	**5.3**

Οι απώλειες λόγω βαθιάς διήθησης φαίνεται καθαρά ότι είναι μεγαλύτερες στο ελαφρύ από ότι στο βαρύτερο έδαφος. Από τον ίδιο πίνακα φαίνεται ότι η διακοπτόμενη άρδευση μειώνει ελάχιστα τις απώλειες από βαθιά διήθηση. Η μείωση αυτή κυμαίνεται από 1.4-0.2%. Τα αποτελέσματα αυτά έρχονται σε αντίθεση με τα αποτελέσματα της εργασίας [10], στην οποία οι συγγραφείς βρήκαν μια σημαντική μείωση (14%) της βαθιάς διήθησης κάτω από τα 60cm , δώδεκα ώρες από την έναρξη της άρδευσης για



Σχήμα 2. Μέτωπο διαβροχής για διάφορους χρόνους για το έδαφος loamy sand (Q=2l/h): (α) συνεχής άρδευση; (β) διακοπτόμενη άρδευση (Q=4l/h): (γ) συνεχής άρδευση; (δ) διακοπτόμενη άρδευση



α **β**

γ **δ**

Σχήμα 3. Μέτωπο διαβροχής για διάφορους χρόνους για το έδαφος silt (Q=2l/h): (α) συνεχής άρδευση; (β) διακοπτόμενη άρδευση (Q=4l/h): (γ) συνεχής άρδευση; (δ) διακοπτόμενη άρδευση

την περίπτωση της διακοπτόμενης άρδευσης. Η διαφορά αυτή μπορεί να εξηγηθεί από το γεγονός ότι η προσομοίωση τους δεν περιελάμβανε την εξάτμιση του νερού από την επιφάνεια του εδάφους καθώς επίσης και τη πρόσληψη του εδαφικού νερού από τις ρίζες των φυτών. Επίσης το έδαφος που χρησιμοποίησαν και για τα πειραματικά και για τα αριθμητικά τους αποτελέσματα ήταν πολύ περατό (K_s=45cm/h).

4.ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

10. Ben-Asher, J., Lomen, D.O., Warrick, A.W., 1978. Linear and nonlinear models of infiltration from a point source. *Soil Sci. Soc. Am. J.,* 42: 3-6.
11. Brandt, A., Bresler, E., Diner, N., Ben-Asher, J., Heller, J., Goldberg, D., 1971. Infiltration from a trickle source, 1. Mathematical models. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.,* 35 (5): 675-682.
12. Bresler, E., Heller, J., Diner, N., Ben-Asher, J., Brandt, A., Goldberg, D., 1971. Infiltration from a trickle source, 2. Experimental data and theoretical predictions. *Soil Sci. Soc. Am. Proc*., 35 (5): 683-689.
13. Coelho, F.E., Or, D., 1996. A parametric model for two-dimensional water uptake intensity by corn roots under drip irrigation. *Soil Sci. Soc. Am. J.,* 60: 1039-1049.
14. Cote, C.M., Bristow, K.L., Charlesworth, P.B., Cook, F.J., Thorburn, P.J., 2003. Analysis of soil wetting and solute transport in subsurface trickle irrigation. *Irrig. Sci.,* 22: 143-156.
15. Elmaloglou, S., Malamos, N., 2006. A methodology for determining the surface and vertical components of the wetting front under a surface point source, with root water-uptake and evaporation. *Irrig. and Drain.,* 55(1): 99-111.
16. Elmaloglou, S., Diamantopoulos, E., 2007. Wetting front advance patterns and water losses by deep percolation under the root zone as influenced by pulsed drip irrigation. *Agric. Water Manage*., 90: 160-163.
17. Healy, R.W., Warrick, A.W., 1988. A generalized solution to infiltration from a surface point-source. *Soil Sci. Soc. Am. J.,* 52 (5): 1245-1251.
18. Lafolie, F., Guennelon, R., van Genuchten, M.Th., 1989. Analysis of water flow under trickle irrigation:1.Theory and numerical solution. *Soil Sci. Soc. Am. J.,* 53 (5): 1310-1318.
19. Levin, I., Van Rooyen, P.C., Van Rooyen, F.C., 1979. The effect of discharge rate and intermittent water application by point-source irrigation on the soil moisture distribution pattern. *Soil Sci. Soc. Am. J.,* 43: 8-16.
20. Mostaghimi, S., Mitchell, J.K., Lembke, W.D., 1981. Effect of pulsed trickling on moisture distribution patterns in heavy soils. Paper No. 81-2553, *ASAE,* St. Joseph, MI.
21. Oron, G., 1981. Simulation of water flow in the soil under sub-surface trickle irrigation with water uptake by roots. *Agric. Water Manage.,* 3: 179-193.
22. Peaceman, D.W., Rachford, H.M., 1955. The numerical solution of parabolic and elliptic differential equations. *J. Soc. Ind. Appl. Math.,* 3: 24-41.
23. Revol, P., Vachaud, G., Vauclin, M., Clothier, B.E., 1997. Infiltration from a surface point source and drip irrigation, 1.The midpoint soil water pressure. *Water Resour. Res.,* 33: 1861-1867.
24. Revol, P., Clothier, B.E., Mailhol, J.-C., Vachaud, G., Vauclin, M., 1997. Infiltration from a surface point source and drip irrigation, 2.An approximate time-dependent solution for wet-front position. *Water Resour. Res.,* 33: 1869-1874.
25. Schaap M.G. and Leij, L.J. 1998. Database-related accuracy and uncertainty of pedotransfer functions. *Soil Sci.*, 163: 765-779.

(153)

ΑΠΛΕΣ ΚΑΙ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΤΙΚΕΣ ΛΥΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΔΙΗΘΗΣΗ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΣΕ ΑΚΟΡΕΣΤΟ ΕΔΑΦΟΣ

Α. Λουκάς
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Πολυτεχνική Σχολή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πεδίον Άρεως, 38334, Βόλος, aloukas@civ.uth.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εργασία αυτή, η μη γραμμική παραβολική διαφορική εξίσωση, που περιγράφει την οριζόντια ροή σε ακόρεστο έδαφος, μετασχηματίστηκε με την βοήθεια του μετασχηματισμού Boltzmann. Η πρώτη προτεινόμενη λύση είναι η αριθμητική επίλυση της μετασχηματισμένης εξίσωσης με την μέθοδο Runge-Kutta 4ης τάξης. Εναλλακτικά, προτάθηκαν προσεγγιστικές λύσεις θεωρώντας ότι η καμπύλη του αδιάστατου συντελεστή διάχυσης προσεγγίζεται με μια ευθεία ή με ένα πολυώνυμο. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι προτεινόμενες μέθοδοι υπολογίζουν αξιόπιστα, εύκολα και γρήγορα το προφίλ της εδαφικής υγρασίας σε ακόρεστο έδαφος.

SIMPLE AND APPROXIMATE SOLUTIONS FOR THE HORIZONTAL ABSORPTION OF WATER IN UNSATURATED SOIL

A. Loukas
University of Thessaly, Polytechnic School, Dept. of Civil Engineering, Pedion Areos, 38334 Volos, aloukas@civ.uth.gr

ABSTRACT

In this work, the non-linear parabolic partial differential equation, which describes the horizontal diffusion of water in unsaturated soil, was transformed using the Boltzmann transformation. The first proposed solution is the numerical solution of the transformed equation with the method of Runge-Kutta of 4th order. Alternatively, approximate solutions were proposed assuming that the curve of the dimensionless diffusion coefficient is approximated by a line or a polynomial curve. The results indicated that the proposed solutions estimate accurately and easily the profile of soil moisture in a unsaturated soil.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το φαινόμενο της οριζόντιας διήθησης του νερού σε ακόρεστο έδαφος δεν συναντάται συχνά στην πρακτική της άρδευσης. Είναι, περισσότερο, μια απλούστευση του φαινομένου της κατακόρυφης διήθησης, το οποίο προσεγγίζει την πραγματικότητα. Παρόλα αυτά η οριζόντια διήθηση χρησιμοποιείται για τη διερεύνηση του φαινομένου της κατακόρυφης διήθησης, στο οποίο η επίδραση της βαρύτητας είναι σημαντική και ο συνυπολογισμός της υποχρεωτικός.

Το φαινόμενο που αντιμετωπίζεται στη παρούσα εργασία είναι η μονοδιάστατη οριζόντια ακόρεστη ροή με συντελεστή διάχυσης εκθετικής μορφής. Θεωρείται ότι το μέσο είναι ομογενές, ισότροπο, και ότι η πίεση του αέρα στους πόρους είναι ίση με την ατμοσφαιρική πίεση. Η εξίσωση που περιγράφει το φαινόμενο είναι η μη-γραμμική παραβολική εξίσωση:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x}\left(D \frac{\partial \theta}{\partial x} \right) \tag{1}$$

με αρχική συνθήκη:

$$x > 0 \qquad t = 0 \qquad \theta = \theta_o$$

και οριακή συνθήκη:

$$x = 0 \qquad t > 0 \qquad \theta = \theta_s$$

όπου θ είναι η υγρασία κατ'όγκο, t είναι ο χρόνος, D είναι ο συντελεστής διάχυσης, x είναι η απόσταση, θ_o είναι η αρχική υγρασία το μέσου, και θ_ς είναι η υγρασία στο κορεσμό.

Στο παρελθόν έχουν παρουσιασθεί αριθμητικές, ημιαναλυτικές και αναλυτικές λύσεις προβλημάτων οριζόντιας διήθησης (π.χ. [1], [2], [3], [4], [5]). Οι αριθμητικές λύσεις βασίζονται κύρια στις μεθόδους των πεπερασμένων στοιχείων και διαφορών για τη επίλυση των διαφορικών εξισώσεων που περιγράφουν το φαινόμενο της οριζόντιας διήθησης. Στις ημιαναλυτικές λύσεις χρησιμοποιούνται είτε η μέθοδος των μικρών διαταραχών είτε η ανάπτυξη μεταβλητών σε σειρές ώστε να μετασχηματισθούν σε γραμμικές οι εξισώσεις του φαινομένου και να προσεγγισθούν αριθμητικά. Τέλος, οι αναλυτικές λύσεις είναι πολύ περιορισμένες λόγω της έντονης μη-γραμμικότητας των εξισώσεων που περιγράφουν το φαινόμενο.

Στην εργασία αυτή, θεωρείται ότι ο συντελεστής διάχυσης είναι εκθετικής μορφής δηλαδή:

$$D(\theta) = D_o e^{\beta(\theta - \theta_o)} \tag{2}$$

όπου D_o είναι ο συντελεστής διάχυσης που αντιστοιχεί στην αρχική υγρασία θ_o και β είναι η σταθερά του μέσου.

Ένας συνήθης μετασχηματισμός που γίνεται για την επίλυση της Εξ. (1) είναι ο μετασχηματισμός Boltzmann:

$$n = \frac{x}{\sqrt{D_o t}} \tag{3}$$

Με τη βοήθεια το μετασχηματισμού Εξ. (3) αυτού η Εξ. (1) γίνεται:

$$-\frac{n}{2}\frac{d\theta}{dn} = \frac{d}{dn}\left(\frac{D}{D_o}\frac{d\theta}{dn} \right) \tag{4}$$

με συνθήκες:

$$n = 0 \qquad \theta = \theta_s$$
$$n \to \infty \qquad \theta = \theta_o$$

Εισάγοντας τον αδιάστατο συντελεστή διάχυσης, $\overline{D}(\theta) = \frac{D(\theta)}{D_o}$ και λαμβάνοντας υπόψη ότι ισχύει $\frac{d\overline{D}}{dn} = \beta\overline{D}\frac{d\theta}{dn} \Rightarrow \frac{d\theta}{dn} = \frac{1}{\beta\overline{D}}\frac{d\overline{D}}{dn}$ η Εξ. (4) μπορεί να γραφεί:

$$-\frac{n}{2}\frac{d\overline{D}}{dn} = \overline{D}\frac{d^2\overline{D}}{dn^2} \tag{5}$$

με συνθήκες:

$$n = 0 \qquad \overline{D} = \overline{D}_s$$
$$n \to \infty \qquad \overline{D} = 1$$

Η Εξ. (5) ισχύει μόνο για σχέση D(θ) εκθετικής μορφής. Για την επίλυση της Εξ. (5) χρησιμοποιήθηκαν διάφορες αριθμητικές και προσεγγιστικές μέθοδοι. Η πρώτη μέθοδος που προτείνεται περιλαμβάνει την αριθμητική επίλυση της μετασχηματισμένης εξίσωσης με την μέθοδο Runge-Kutta 4ης τάξης, με εκτίμηση της αρχικής κλίσης της καμπύλης του αδιάστατου συντελεστή διάχυσης. Εναλλακτικά, προτείνονται προσεγγιστικές λύσεις θεωρώντας ότι η καμπύλη του αδιάστατου συντελεστή διάχυσης προσεγγίζεται με μια ευθεία ή με ένα πολυώνυμο. Τα αποτελέσματα των προταθέντων μεθόδων συγκρίθηκαν με τα αποτελέσματα τεσσάρων μεθόδων που αναφέρονται στη διεθνή βιβλιογραφία και για πέντε τύπους εδαφών.

2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

2.1. Αριθμητική επίλυση – Μέθοδος Runge-Kutta

Για την επίλυση της διαφορικής εξίσωσης (5) χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος Runge-Kutta 4ης τάξης. Σύμφωνα με την μέθοδο αυτή, η λύση της εξίσωσης προκύπτει για διαδοχικά βήματα, $\Delta\eta = h$, σύμφωνα με την παρακάτω διαδικασία:

$$\overline{D}_{n+1} = \overline{D}_n + \frac{1}{6}\left(K_1 + 2\cdot K_2 + 2\cdot K_3 + K_4\right) \tag{6}$$

όπου,

$$K_1 = h\cdot f(n_n, \overline{D}_n)$$
$$K_2 = h\cdot f\left(n_n + \frac{h}{2}, \overline{D}_n + \frac{K_1}{2}\right)$$
$$K_3 = h\cdot f\left(n_n + \frac{h}{2}, \overline{D}_n + \frac{K_2}{2}\right)$$
$$K_4 = h\cdot f(n_n + h, \overline{D}_n + K_3$$

όπου $f\left(n, \overline{D}\right) = \frac{d\overline{D}}{dn}$

Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται ταυτόχρονα και για τον υπολογισμό της $f\left(n,\overline{D}\right)=\frac{d\overline{D}}{dn}$, με τη βοήθεια της δεύτερης παραγώγου του $\overline{D}$, η οποία προκύπτει από την Εξ. (5) ότι είναι ίση με $\frac{d^2\overline{D}}{dn^2}=-\frac{n}{2\cdot\overline{D}}\frac{d\overline{D}}{dn}$.

Η μέθοδος Runge-Kutta 4ης τάξης έχει χρησιμοποιηθεί σε παρόμοια προβλήματα, όπως στο πρόβλημα της μονοδιάστατης εξίσωσης του Boussinesq [6], η οποία περιγράφει τη ροή του υπόγειου υδροφορέα. Το πρόβλημα με τη μέθοδο αυτή είναι ότι για την επίλυση του προβλήματος απαιτείται να είναι γνωστή η τιμή της κλίσης της καμπύλης του αδιάστατου συντελεστή διάχυσης, $\overline{D}$, στην αρχή του πεδίου, n=0, δηλαδή η τιμή $\frac{d\overline{D}}{dn}\Big|_{n=0}=a$. Για να επιλυθεί το πρόβλημα, έγιναν επαναλήψεις ώστε να προσεγγιστεί η τιμή της αρχικής κλίσης, a, στο δεύτερο δεκαδικό με έλεγχο της τιμής του $\overline{D}$, στο πέμπτο δεκαδικό στοιχείο, στο άπειρο ($n\to\infty$, $\overline{D}=1$). Κατά τις επαναλήψεις αυτές, δίνοντας τιμές μικρότερες της πραγματικής αρχικής κλίσης, a, τότε το προφίλ δεν τείνει στην τιμή $\overline{D}=1$ για $n\to\infty$, αλλά σε μια τιμή μεγαλύτερη της μονάδας. Αντίθετα, δίνοντας τιμές στην αρχική κλίση μεγαλύτερες του a τότε το προφίλ γίνεται περίπου κατακόρυφο και η μεταβλητή $\overline{D}$ παίρνει αρνητικές τιμές.

Επίσης, στη μέθοδο αυτή χρειάζεται να προσεχθεί το βήμα ολοκλήρωσης, h, ιδιαίτερα στη περιοχή που η καμπύλη $\overline{D}(n)$ προσεγγίζει τη τιμή 1. Στη περιοχή αυτή η κλίση της καμπύλης αλλάζει γρήγορα και απαιτείται μικρότερο βήμα. Στην εργασία αυτή χρησιμοποιήθηκε βήμα ολοκλήρωσης $h=\Delta n=0.1$, για τη περιοχή από $n=0$ έως $n=\frac{n_k}{2}$ και βήμα $h=\Delta n=0.01$, για τη περιοχή από $n=\frac{n_k}{2}$ έως $n\to\infty$, όπου n_k είναι το σημείο καμπής της καμπύλης της υγρασίας $\theta(n)$.

Από τη λύση της Εξ. (5) γίνεται γνωστή η συνάρτηση $\overline{D}(n)$ και η συνάρτηση $\theta(n)$ αφού ισχύει:

$$\overline{D}(\theta)=e^{\beta(\theta-\theta_o)}\Rightarrow\theta=\frac{\ln\overline{D}}{\beta}+\theta_o \tag{7}$$

2.2. Εκτίμηση της αρχικής κλίσης της $\overline{D}(n)$

Για την προσεγγιστική εκτίμηση της αρχικής κλίσης της καμπύλης του αδιάστατου συντελεστή διάχυσης, $\overline{D}(n)$, διερευνήθηκε αρχικά η επίλυση της Εξ. (4) στο σημείο καμπής του προφίλ υγρασίας, $n=n_k$. Η Εξ. (4) για τη θέση $n=n_k$ μπορεί να γραφεί ως:

$$-\frac{n}{2}\frac{d\theta}{dn}\Big|_{n_k}=\frac{d\overline{D}}{dn}\frac{d\theta}{dn}\Big|_{n_k}+\overline{D}\frac{d^2\theta}{dn^2}\Big|_{n_k} \tag{8}$$

Επειδή το σημείο $n = n_k$ είναι σημείο καμπής του προφίλ υγρασίας, ο δεύτερο όρος του δεξιού μέλους της Εξ. (8) γίνεται ίσο με το μηδέν. Αντικαθιστώντας, $\overline{D}_k(\theta) = e^{\beta(\theta_k - \theta_o)}$, υποθέτοντας ότι το σημείο καμπής του προφίλ υγρασίας είναι το καταληκτικό σημείο του μετώπου υγρασίας, όπως έχει παρατηρηθεί σε πειράματα ([7], [8], [9]) και ολοκληρώνοντας την Εξ. (8) προκύπτει ότι $\left.\frac{d\overline{D}}{dn}\right|_{n_k} = -\frac{n_k}{2}$, $-\frac{n_k}{2} = \beta\overline{D}_k \left.\frac{d\theta}{dn}\right|_{n_k}$, $\theta_k = \theta_o + \frac{1}{\beta}$ και $\overline{D}_k = e$.

Με τη βοήθεια της παραπάνω διερεύνησης και λύσεων μπορεί να λυθεί το αντίστροφο πρόβλημα από την Εξ. (5) με διαφορετικές συνθήκες. Δηλαδή:

$$-\frac{n}{2}\frac{d\overline{D}}{dn} = \overline{D}\frac{d^2\overline{D}}{dn^2} \tag{9}$$

με συνθήκες:

$$n = 0 \qquad \overline{D} = \overline{D}_s = \mu$$

$$n = n_k \qquad \overline{D} = e \qquad \left.\frac{d\overline{D}}{dn}\right|_{n_k} = -\frac{n_k}{2}$$

Κάνοντας τον μετασχηματισμό $y = n - n_k$ η Εξ. (9) γίνεται:

$$-\frac{y}{2}\frac{d\overline{D}}{dy} = \overline{D}\frac{d^2\overline{D}}{dy^2} \tag{10}$$

με συνθήκες:

$$y = -n_k \qquad \overline{D} = \overline{D}_s = \mu$$

$$y = 0 \qquad \overline{D} = e \qquad \left.\frac{d\overline{D}}{dy}\right|_{y=0} = -\frac{n_k}{2}$$

Με **τη** βοήθεια του προγράμματος που έχει αναπτυχθεί είναι δυνατόν να λυθεί το αντίστροφο πρόβλημα της Εξ. (10). Έτσι δίνοντας τιμές στο n_k βρίσκονται τιμές για το $\overline{D} = \mu$ και για την αρχική κλίση $\left.\frac{d\overline{D}}{dn}\right|_{n=0} = a$. Από τα διαδοχικά ζευγάρια τιμών που προκύπτουν από την επίλυση της Εξ. (10), υπολογίζονται τα $\frac{{n_k}^2}{\mu}$ και $\frac{\mu}{a^2}$. Τα ζευγάρια τιμών $\left(\frac{{n_k}^2}{\mu}, \mu\right)$ και $\left(\frac{\mu}{a^2}, \mu\right)$ τοποθετούνται σε ημι-λογαριθμικό χαρτί γιατί το μ παίρνει μεγάλες τιμές. Οι εμπειρικές καμπύλες που δημιουργούν τα ζευγάρια των τιμών αυτών προσεγγίζονται με βέλτιστη προσαρμογή. Οι αναλυτικές σχέσεις των καμπυλών αυτών είναι:

$$\frac{{n_k}^2}{\mu} = \frac{2.323}{\ln\mu - 0.702} \tag{11}$$

με R^2=0.998 και μέσο τετραγωνικό σφάλμα ίσο με 0.003 και

$$\frac{\mu}{a^2} = \frac{1.933}{\ln \mu - 0.802} \tag{12}$$

με R^2=0.999 και μέσο τετραγωνικό σφάλμα ίσο με 0.001.

Έτσι με τη βοήθεια των δύο αυτών εξισώσεων μπορεί να προσεγγισθούν το σημείο καμπής του προφίλ υγρασίας, $n = n_k$, και η αρχική κλίση της καμπύλης του αδιάστατου συντελεστή διάχυσης, α, αν είναι γνωστή η τιμή $\overline{D} = \overline{D}_s = \mu$. Οι τιμές, n_k και α, που προκύπτουν με τη μέθοδο αυτή είναι προσεγγίσεις και όχι οι πραγματικές τιμές. Η εκτίμηση της αρχική κλίση της καμπύλης του αδιάστατου συντελεστή διάχυσης, α, όμως, με τη παραπάνω προσέγγιση μειώνει των αριθμό των επαναλήψεων που απαιτούνται με την αριθμητική επίλυση της Εξ. (5), όπως αναπτύχθηκε προηγουμένως.

2.3. Προσεγγίσεις της $\overline{D}(n)$

Η καμπύλη του αδιάστατου συντελεστή διάχυσης, $\overline{D}(n)$, μπορεί να προσεγγιστεί με μία ευθεία από το σημείο $n = 0,\ \overline{D} = \overline{D}_s$ και έως το σημείο $n = n_k,\ \overline{D} = e$. Η εξίσωση της προσεγγιστικής ευθείας που βρίσκεται από την επίλυση είναι:

$$\overline{D} = \frac{e - \overline{D}_s}{n_k} n + \overline{D}_s \tag{13}$$

Μια άλλη προσέγγιση, καλύτερη από την ευθεία, είναι η καμπύλη με μορφή του πολυωνύμου της Εξ. (14):

$$\overline{D} = \overline{D}_s + \lambda \cdot n + \delta \cdot n^{\nu} \tag{14}$$

Οι τιμές των παραμέτρων, λ και δ, της Εξ. (14) υπολογίζονται από τις συνθήκες,

$$n = n_k \qquad \overline{D} = e \text{ , και}$$

$$n = n_k \qquad \frac{d\overline{D}}{dn}\Big|_{n_k} = -\frac{n_k}{2}$$

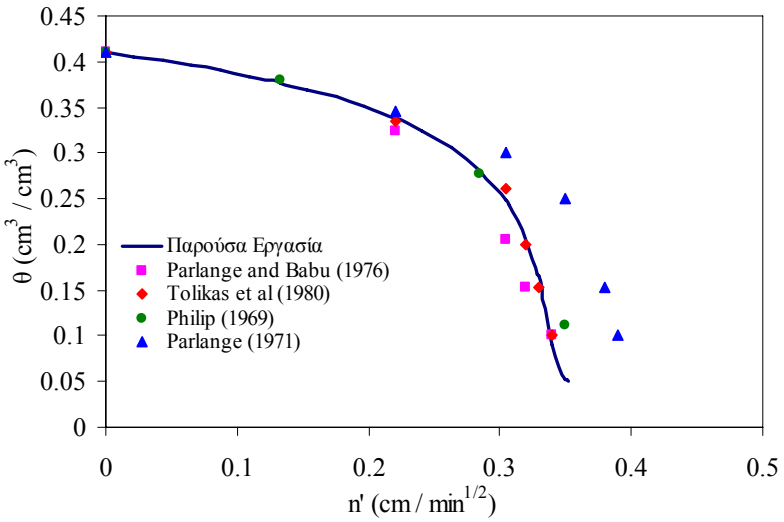
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Οι μεθοδολογίες που αναπτύχθηκαν προηγουμένως εφαρμόσθηκαν για την επίλυση της Εξ. (5) για πέντε τύπους εδαφών. Τα χαρακτηριστικά των εδαφών αυτών παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα (*Πίνακας 1*).

Τα αποτελέσματα των προτεινομένων μεθοδολογιών συγκρίθηκαν με τα αποτελέσματα αναλυτικών και ημι-αναλυτικών λύσεων που έχουν προταθεί στη διεθνή βιβλιογραφία [1], [2], [3], [4]. Στο Σχήμα 1 συγκρίνεται η λύση για τη σχέση $\theta(n)$ που υπολογίσθηκε με τη μέθοδο της αριθμητικής ολοκλήρωσης Runge-Kutta $4^{ης}$ τάξης χρησιμοποιώντας διαδοχικές προσεγγίσεις για την τιμή της αρχικής κλίσης της καμπύλης του αδιάστατου συντελεστή διάχυσης, $\overline{D}(n)$, για το έδαφος Sarpy loam, με άλλες λύσεις που έχουν προταθεί στη βιβλιογραφία.

Πίνακας 1. Χαρακτηριστικές παράμετροι εδαφών

Τύπος Εδάφους	β	θ_s (cm^3/cm^3)	θ_o (cm^3/cm^3)	$\beta(\theta_s-\theta_o)$ (cm^3/cm^3)	D_s (cm^2/min)	D_o x10^{-3} (cm^2/min)	$\overline{D}_s=\frac{D_s}{D_o}$
Sarpy loam	17.5	0.41	0.05	6.30	0.261	0.48	543.75
Yolo clay loam	20.7	0.42	0.04	7.86	1.49	0.57	2641.04
Columbia silt loam	21.7	0.34	0.05	6.30	2.63	4.83	544.51
Hanfort silt	24.6	0.35	0.012	8.31	3.89	0.95	4094.73
Fresno fine sand	26.3	0.31	0.007	7.97	13.24	4.6	2878.26



Σχήμα 1. Σύγκριση του υπολογισμένου προφίλ υγρασίας για τις διάφορες μεθόδους για το έδαφος Sarpy loam

Παρόμοια αποτελέσματα έχουν βρεθεί και για τους άλλους τέσσερις τύπους εδαφών. Ο παρακάτω πίνακας (*Πίνακας 2*) παρουσιάζει τη σύγκριση του σημείου καμπής του προφίλ υγρασίας για τους πέντε τύπους εδαφών. Παρατηρείται ότι η αριθμητική ολοκλήρωση με τη μέθοδο Runge-Kutta 4ης τάξης παρέχει αποτελέσματα που βρίσκονται πολύ κοντά στις λύσεις που έχουν προταθεί από τους Tolikas et al. [4] και Philip [1] ενώ απέχουν από τα αποτελέσματα που παρέχουν οι λύσεις των Parlange και Babu [3] και Babu [7].

Οι εκτιμήσεις της τιμής της αρχικής κλίσης του αδιάστατου συντελεστή διάχυσης, α και του σημείου καμπής του προφίλ υγρασίας από τις Εξ. (12) και (11), αντίστοιχα, βρίσκονται πολύ κοντά στις εκτιμήσεις με διαδοχικές προσεγγίσεις και αριθμητική επίλυση με τη μέθοδο Runge-Kutta 4ης τάξης (*Πίνακας 3*). Τα προφίλ υγρασίας που υπολογίζονται με την προσέγγιση της καμπύλης του αδιάστατου συντελεστή διάχυσης με ευθεία και πολυώνυμο είναι συγκρίσιμα της 1ης μεθόδου, της αριθμητικής

ολοκλήρωσης της Εξ. (5) με τη μέθοδο Runge-Kutta 4ης τάξης με διαδοχικές εκτιμήσεις της αρχικής κλίσης της καμπύλης $\overline{D}(n)$.

Πίνακας 2. Σύγκριση των τιμών του χαρακτηριστικού σημείου καμπής της καμπύλης υγρασίας $\left(n_k' = \frac{x}{\sqrt{t}}\right)$ για διάφορες λύσεις και τύπους εδαφών

Τύπος Εδάφους	θ_k (cm^3/cm^3)	n_k' ($cm/min^{1/2}$) Παρούσα Εργασία	n_k' ($cm/min^{1/2}$) Tolikas et al.[4]	$\tilde{n}_k$ ($cm/min^{1/2}$) Philip [1]	$\tilde{n}_k$ ($cm/min^{1/2}$) Parlange and Babu [3]	$\tilde{n}_k$ ($cm/min^{1/2}$) Babu [7]
Sarpy loam	0.107	0.338	0.338	0.338	0.320	0.310
Yolo clay loam	0.088	0.698	0.693	0.698	0.674	0.653
Columbia silt loam	0.096	1.073	1.071	1.071	1.017	0.985
Hanfort silt	0.053	1.088	1.081	1.089	1.055	1.025
Fresno fine sand	0.045	2.064	2.048	2.063	1.995	1.934

Πίνακας 3. Σύγκριση των τιμών της αρχικής κλίσης της καμπύλης του αδιάστατου συντελεστή διάχυσης, (α), και του χαρακτηριστικού σημείου καμπής της καμπύλης υγρασίας $\left(n_k' = \frac{x}{\sqrt{t}}\right)$ για την αρχική λύση και για τη μέθοδο με εκτίμηση του α

Τύπος Εδάφους	α Εμπειρική Εκτίμηση – $1^η$ Μέθοδος	α Εκτίμηση από Εξ. (12) – $2^η$ Μέθοδος	n_k' Εμπειρική Εκτίμηση – $1^η$ Μέθοδος	n_k' Εκτίμηση από Εξ. (11) – $2^η$ Μέθοδος
Sarpy loam	-39.61	-39.32	0.338	0.329
Yolo clay loam	-98.03	-98.33	0.698	0.698
Columbia silt loam	-39.64	-39.35	1.073	1.045
Hanfort silt	-126.38	-126.18	1.088	1.089
Fresno fine sand	-103.50	-103.27	2.064	2.058

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Philip, J.R., 1969. Theory of infiltration. *Advanc. Hydrosc*., 5: 217-296.
2. Parlange, J.Y., 1971. Theory of water-movement in soils I: One dimensional absorption. *Soil Sc*., III: 134-137.
3. Parlange, J.Y. and Babu, D.K., 1976. A comparison of techniques for solving the diffusion equation with exponential diffusivity. *Water Resour. Res*., 12(6): 1317-1318.

4. Tolikas, P.K., Tzimopoulos, C.D. and Tolikas, D.K., 1980. A simple analytical solution for horizontal absorption of water by soils for exponential soil water diffusivity. *Water Resour. Res*., 16(4): 821-825.
5. Κάργας, Γ. και Κερκίδης, Π., 2006. Συμβολή στη μελέτη του φαινομένου της οριζόντιας διήθησης. *10ο Πανελλήνιο Συνέδριο της Ε.Υ.Ε*., Ξάνθη, Δεκέμβριος 2006.
6. Sidiropoulos, E.G. and Tolikas, P.K., 1984. Similarity and iterative solution of the Boussinesq equation. *J. Hydrol*., 74: 31-41.
7. Babu, D.K., 1976. Infiltration analysis and perturbation methods I: Absorption with exponential diffusivity. *Water Resour. Res*., 12(1): 89-93.
8. Hanks, R.J. and Bowers, S.A., 1962. Numerical solution of the moisture flow equation for infiltration into layered soils. *Soil Sci. Amer. Proc*., 26: 530-534.
9. Reichardt, K., Nielsen, D.R. and Biggar, J.W., 1972. Scaling of horizontal infiltration into homogeneous soils. *Soil Sci. Amer. Proc*., 36(2): 241-250.

(158)

ΒΕΛΤΙΣΤΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΑΡΔΕΥΤΙΚΟΥ ΝΕΡΟΥ ΜΕ ΤΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΣΧΕΣΕΩΝ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ – ΔΙΑΘΕΣΙΜΟΤΗΤΑΣ ΝΕΡΟΥ

Π.Ε. Γεωργίου[*] και Δ.Μ. Παπαμιχαήλ
Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Γεωπονική Σχολή, 54124 Θεσσαλονίκη
[*]e-mail: pantaz@agro.auth.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η βέλτιστη διαχείριση του αρδευτικού νερού και ειδικότερα ο προγραμματισμός των αρδεύσεων πρέπει να λαμβάνουν σοβαρά υπόψη την αποτελεσματικότητα της εφαρμογής του νερού στην απόδοση των καλλιεργειών. Για το λόγο αυτό διερευνήθηκαν σχέσεις απόδοσης των καλλιεργειών σε σχέση με τη διαθεσιμότητα νερού. Στην εργασία αυτή γίνεται διερεύνηση και συγκριτική αξιολόγηση των διαφόρων σχέσεων (Jensen, Doorenboos and Kassam) απόδοσης καλλιεργειών - διαθεσιμότητας νερού. Η διαδικασία αυτή αναφέρεται σε τρεις καλλιέργειες και εφαρμόζεται για συνθήκες ανεπάρκειας νερού σε μεμονωμένες και συνδυασμένες περιόδους ευαισθησίας και εξετάζεται η επίδραση στην απόδοση των καλλιεργειών αυτών με σκοπό τη βέλτιστη διαχείριση του αρδευτικού νερού.

OPTIMAL IRRIGATION WATER MANAGEMENT BASED ON CROP WATER PRODUCTION FUNCTIONS

P.E. Georgiou[*] and D.M. Papamichail
Aristotle University of Thessaloniki, Faculty of Agriculture, 54124 Thessaloniki
[*]e-mail: pantaz@agro.auth.gr

ABSTRACT

The optimal irrigation water management and the irrigation scheduling take into account the effectiveness of irrigation water use in crop yield. For this reason relationships between crop yield and water supply were investigated. In this paper, a comparative analysis of the various crop water production functions (Jensen, Doorenboos and Kassam) was performed. The functions were compared for a number of crops over a wide range of deficit and stress conditions. The proposed function is usefull in evaluating alternative irrigation strategies and optimal irrigation water management.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η εφαρμογή άρδευσης και πιο συγκεκριμένα η κατάστρωση, ο σχεδιασμός και η λειτουργία ενός αρδευτικού προγράμματος πρέπει να λαμβάνει σοβαρά υπόψη την αποτελεσματικότητα της εφαρμογής του νερού στις αποδόσεις των καλλιεργειών. Στην περίπτωση ελλειμματικών αρδεύσεων, η βέλτιστη διαχείριση του αρδευτικού νερού έχει σχέση, τόσο με την ποσότητα του αρδευτικού νερού που χορηγείται, όσο και με τη χρονική στιγμή της εφαρμογής του. Για το λόγο αυτό, δημιουργήθηκε η αναγκαιότητα διερεύνησης σχέσεων απόδοσης καλλιεργειών σε σχέση με τη διαθεσιμότητα νερού. Ο υπολογισμός της απόδοσης των καλλιεργειών κάτω από συνθήκες ανεπαρκούς διαθεσιμότητας νερού, απαιτεί την ενσωμάτωση της συνδυασμένης επίδρασης της ευαισθησίας των περιόδων ανάπτυξης. Οι σχέσεις αυτές είναι πολύπλοκες και περικλείουν την επίδραση της ευαισθησίας (stress) στην έλλειψη νερού της καλλιέργειας κατά τη διάρκεια της βλαστικής περιόδου. Το μήκος των περιόδων ευαισθησίας είναι αυθαίρετο και μπορεί να ποικίλλει (μήνας, δεκαήμερο, εβδομάδα κ.λπ.) ή να έχει τη διάρκεια των φυσιολογικών σταδίων ανάπτυξης της καλλιέργειας

Κατά το παρελθόν, παρουσιάστηκαν διάφορες σχέσεις, οι οποίες περιγράφουν την απόδοση των καλλιεργειών σε σχέση με τη διαθεσιμότητα νερού και ειδικότερα με την εξατμισοδιαπνοή και χρησιμοποιούνται σε μοντέλα βελτιστοποίησης της διαχείρισης του αρδευτικού νερού [1,2,3,4,5,6,7].

Στην εργασία αυτή γίνεται διερεύνηση και συγκριτική αξιολόγηση των διαφόρων σχέσεων απόδοσης καλλιεργειών σε σχέση με τη διαθεσιμότητα νερού [5,6,7]. Η διερεύνηση και συγκριτική αξιολόγηση αναφέρεται σε τρεις καλλιέργειες και εφαρμόζεται για συνθήκες ανεπάρκειας νερού σε μεμονωμένες και συνδυασμένες περιόδους ευαισθησίας και εξετάζεται η επίδραση στην απόδοση των καλλιεργειών αυτών με σκοπό τη βέλτιστη χρήση του αρδευτικού νερού.

2. ΣΧΕΣΕΙΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ – ΔΙΑΘΕΣΙΜΟΤΗΤΑΣ ΝΕΡΟΥ

Αρκετές σχέσεις απόδοσης καλλιεργειών – εξατμισοδιαπνοής έχουν παρουσιασθεί στη διεθνή βιβλιογραφία [8,9,10,11]. Οι σχέσεις αυτές έχουν εκτεταμένα χρησιμοποιηθεί για αγρονομικούς σκοπούς, αλλά έχουν υποστεί και ευρύτατη κριτική. Για το λόγο αυτό, δημιουργήθηκε η αναγκαιότητα διερεύνησης σχέσεων που να περικλείουν την επίδραση της ευαισθησίας (stress) της καλλιέργειας, κάτω από συνθήκες έλλειψης νερού στις διάφορες περιόδους κατά τη διάρκεια της βλαστικής περιόδου.

Ο Jensen [5] παρουσίασε δύο σχέσεις, μία για τον υπολογισμό της σχετικής απόδοσης των μη χορτοδοτικών καλλιεργειών (determinate crops) και μία άλλη για τον υπολογισμό της σχετικής απόδοσης των χορτοδοτικών καλλιεργειών (indeterminate crops). Η σχετική απόδοση για τις μη χορτοδοτικές καλλιέργειες είναι:

$$\frac{Y_a}{Y_m} = \prod_{i=1}^{n} \left(\frac{ET_a}{ET_m} \right)_i^{\lambda_i} \qquad (1)$$

όπου: Y_a=πραγματική απόδοση (actual yield) της καλλιέργειας κάτω από τις συγκεκριμένες συνθήκες έλλειψης νερού σε kg/στρέμμα, Y_m= μέγιστη απόδοση (maximum yield) της καλλιέργειας, όταν το νερό δεν είναι περιοριστικός παράγοντας σε kg/στρέμμα, ET_a πραγματική εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας (actual evapotranspiration) σε mm και ET_m μέγιστη εξατμισοδιαπνοή (maximum evapotranspiuration) σε mm, λ_i συντελεστής ευαισθησίας της καλλιέργειας κατά το στάδιο i και n ο συνολικός αριθμός των σταδίων.

Στο μοντέλο του Jensen [σχέση (1)], που είναι το κλασικό πολλαπλασιαστικό μοντέλο, η μειωμένη χορήγηση νερού, κατά τη διάρκεια ενός απλού σταδίου ανάπτυξης, μπορεί να προκαλέσει σοβαρή μείωση στην απόδοση της καλλιέργειας. Το μέγεθος του συντελεστή ευαισθησίας λ για ένα συγκεκριμένο στάδιο ανάπτυξης εξαρτάται από την ευαισθησία της καλλιέργειας στην έλλειψη νερού κατά το στάδιο αυτό. Ο Jensen έδωσε τιμές του λ, για τρία στάδια ανάπτυξης της καλλιέργειας σόργου. Τιμές του λ για διάφορες καλλιέργειες και στάδια ανάπτυξης έχουν δοθεί περιορισμένα στη βιβλιογραφία [12,13,14]

Οι Hall and Butcher [15] ανέπτυξαν επίσης, ένα πολλαπλασιαστικό μοντέλο, το οποίο σε αντιδιαστολή με το μοντέλο του Jensen χρησιμοποιεί αντί της σχετικής εξατμισοδιαπνοής, το έλλειμμα της εδαφικής υγρασίας, ενώ οι Minhas et al. [16] παρουσίασαν μία άλλη μορφή πολλαπλασιαστικού μοντέλου.

Η εκτίμηση των επιπτώσεων στην απόδοση, της περιορισμένης διαθεσιμότητας νερού κατά τα διάφορα στάδια ανάπτυξης των καλλιεργειών, με σκοπό την επισήμανση κρίσιμων περιόδων, δόθηκε και από τους Doorenbos και Kassam [6]. Η σχέση των Doorenbos και Kassam έχει τη μορφή:

$$\frac{Y_a}{Y_m} = 1 - k_y\left[1 - \frac{ET_a}{ET_m}\right] \qquad (2)$$

όπου: Y_a, Y_m, ET_a και ET_m όπως ορίστηκαν στη σχέση (1) του Jensen και k_y= αδιάστατος συντελεστής ανταπόκρισης της παραγωγής, που αντικατοπτρίζει την επίδραση της διαθεσιμότητας νερού στην παραγωγή.

Η απόκριση της καλλιέργειας σε σχέση με τη διαθεσιμότητα νερού περιγράφεται από το συντελεστή ανταπόκρισης της παραγωγής k_y, ο οποίος συνδέει τη μείωση της σχετικής απόδοσης ($1-Y_a/Y_m$) με τη μείωση της σχετικής εξατμισοδιαπνοής ($1-ET_a/ET_m$). Το μέγεθος της έλλειψης της υγρασίας εκφράζεται από το λόγο ET_a/ET_m και μπορεί να είναι ομοιόμορφα κατανεμημένο σε όλη της διάρκεια της βλαστικής περιόδου ή να παρατηρείται σε ένα ή περισσότερα στάδια ανάπτυξης της καλλιέργειας. Οι Doorenbos and Kassam [6] χώρισαν τη βλαστική περίοδο σε πέντε περιόδους ανάπτυξης: (α) *Εγκατάσταση* (establishment), (β) *Βλάστηση* (vegetative), (γ) *Ανθοφορία* (flowering), (δ) *Σχηματοποίηση των καρπών* (ή αλλιώς διαμόρφωση της παραγωγής) (yield formation) και (ε) *Ωρίμανση* (ripening). Γενικά, ελλείμματα υγρασίας που παρουσιάζονται κατά την περίοδο της ανθοφορίας φαίνεται να έχουν τη μεγαλύτερη επίπτωση στην απόδοση των καλλιεργειών, λόγω μείωσης του αριθμού των καρπών, ενώ ελλείμματα μετά την ανθοφορία κατά τη σχηματοποίηση των καρπών περιορίζουν τη μάζα τους. Επομένως, πιο ευαίσθητες στο έλλειμμα νερού είναι οι περίοδοι ανθοφορίας και σχηματισμού των καρπών και λιγότερο ευαίσθητες είναι οι περίοδοι της βλάστησης και ωρίμανσης.

Τιμές του συντελεστή ανταπόκρισης παραγωγής, k_y, δόθηκαν για διάφορες καλλιέργειες, για ολόκληρη τη βλαστική περίοδο και για επιμέρους περιόδους ανάπτυξης, από τους Doorenbos and Kassam [6] και από τον Παπαζαφειρίου [17]. Οι τιμές του k_y υπολογίστηκαν με τις παραδοχές ότι: α) η σχέση μεταξύ του Y_a/Y_m και ET_a/ET_m είναι γραμμική και β) ισχύει για έλλειμμα νερού μέχρι 50%, όταν δηλαδή ($1-ET_a/ET_m$)≤0.5. Οι τιμές αυτές προέκυψαν από ανάλυση πειραματικών δεδομένων που αφορούσαν ποικιλίες υψηλής απόδοσης, οι οποίες είναι απόλυτα προσαρμοσμένες στο περιβάλλον.

Ο συντελεστής ανταπόκρισης της παραγωγής k_y χρησιμοποιείται στον προγραμματισμό των αρδεύσεων, γιατί επιτρέπει την ποσοτικοποίηση του νερού που πρέπει να δοθεί στην καλλιέργεια καθώς επίσης και τον καθορισμό του χρόνου εφαρμογής του, σε συνάρτηση με το επίπεδο της απόδοσης. Κάτω από συνθήκες

ανεπάρκειας νερού και στην περίπτωση που η εφαρμογή του αρδευτικού νερού κατανέμεται στο σύνολο της βλαστικής περιόδου, οι καλλιέργειες, εξαιτίας του γεγονότος της εμφάνισης διαφορετικού k_y, εμφανίζουν και διαφορετικά επίπεδα μείωσης της απόδοσης. Έτσι, η ανεπάρκεια του νερού σε μια καλλιέργεια με μεγάλη τιμή του k_y επιφέρει μεγάλη μείωση της απόδοσης, ενώ αντίθετα, οι μικρές τιμές του k_y αντιστοιχούν σε μικρές μειώσεις της απόδοσης.

Η διαχείριση του αρδευτικού νερού και πιο συγκεκριμένα η κατάστρωση, ο σχεδιασμός και η λειτουργία ενός αρδευτικού προγράμματος πρέπει να λαμβάνει σοβαρά υπόψη την αποτελεσματικότητα της εφαρμογής του νερού στις αποδόσεις των καλλιεργειών. Η σχέση μεταξύ απόδοσης και διαθέσιμου νερού μπορεί να καθοριστεί, όταν είναι γνωστά: οι απαιτήσεις σε νερό της καλλιέργειας, η ευαισθησία της στην έλλειψη νερού κατά τη διάρκεια των διαφόρων φάσεων της βλαστικής περιόδου, το μέγιστο και το πραγματικό επίπεδο της απόδοσής της. Η συνδυασμένη επίδραση της ευαισθησίας των διαφόρων περιόδων ανάπτυξης μπορεί να λειτουργήσει, είτε προσθετικά, είτε πολλαπλασιαστικά. Στον προγραμματισμό των αρδεύσεων και σε μοντέλα βελτιστοποίησης του διαθέσιμου νερού για άρδευση μιας καλλιέργειας, εκείνο το οποίο ενδιαφέρει είναι οι επιπτώσεις των ελλείψεων νερού στη συνολική απόδοση της καλλιέργειας. Για την περίπτωση αυτή, σύμφωνα με τους Rao et al. [7], οι σχέσεις που έχουν χρησιμοποιηθεί είναι τριών μορφών.

Η πρώτη είναι η κλασική σχέση (1) του Jensen [5], του γενικού πολλαπλασιαστικού μοντέλου. Η δεύτερη και η τρίτη μορφή προτάθηκαν από τους Rao et al. [7] και βασίζονται στη σχέση των Doorenbos and Kassam [6]. Σύμφωνα με τη δεύτερη μορφή, η σχετική απόδοση μιας καλλιέργειας δίνεται από το προσθετικό μοντέλο της σχ. (3):

$$\frac{Y_a}{Y_m} = 1 - \sum_{i=1}^{N} k_{y_i} \left[1 - \frac{ET_a}{ET_m} \right]_i \tag{3}$$

όπου: N= αριθμός των περιόδων ανάπτυξης και οι υπόλοιποι συμβολισμοί όπως ορίστηκαν προηγούμενα.

Η τρίτη σχέση, έχει τη μορφή:

$$\frac{Y_a}{Y_m} = \prod_{i=1}^{N} \left[1 - k_{y_i} \left(1 - \frac{ET_a}{ET_m} \right)_i \right] \tag{4}$$

Ο υπολογισμός της απόδοσης των καλλιεργειών κάτω από συνθήκες επάρκειας και ανεπάρκειας νερού, απαιτεί την ενσωμάτωση της συνδυασμένης επίδρασης της ευαισθησίας των περιόδων ανάπτυξης. Το μοντέλο του Jensen της σχέσης (1), παρουσιάζει το βασικό πλεονέκτημα ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε χρονικά βήματα μικρότερα των περιόδων ανάπτυξης [1,4,18].

Ο Tsakiris [1] πρότεινε μία διαδικασία, για τον υπολογισμό των συντελεστών ευαισθησίας λ, σε χρονικά διαστήματα μικρότερα από τις περιόδους ανάπτυξης. Αρχικά, οι τιμές των συντελεστών ανταπόκρισης k_y των Doorenbos and Kassam [6] μετασχηματίζονται σε τιμές του λ και στη συνέχεια με μια γραφική διαδικασία που περιγράφεται μαθηματικά, εκτιμώνται οι τιμές του λ σε χρονικά διαστήματα μικρότερα από τις περιόδους ανάπτυξης [1,3]. Αναλυτικά η διαδικασία έχει ως εξής:

Οι συναρτήσεις απόδοσης του Jensen και των Doorenbos and Kassam [5,6] για μία περίοδο ανάπτυξης της βλαστικής περιόδου αντίστοιχα, είναι:

$$\frac{Y_a}{Y_m} = \left(\frac{ET_a}{ET_m} \right)^{\lambda_i} \tag{5}$$

και

$$\left[1-\frac{Y_a}{Y_m}\right]=k_y\left[1-\frac{ET_a}{ET_m}\right] \quad (6)$$

Η σχέση (6) ισχύει για $(1\text{-}ET_a/ET_m)\leq 0.5$. Με λογαρίθμιση της σχέσης (5) προκύπτει η σχέση (7):

$$\ln\left(Y_a/Y_m\right)=\lambda_i \ln\left(ET_a/ET_m\right) \quad (7)$$

Στην περίπτωση ανεπάρκειας νερού που εντοπίζεται μόνο στη συγκεκριμένη περίοδο ανάπτυξης, η αντίστοιχη τιμή του k_y είναι γνωστή. Για διάφορες τιμές του λόγου ET_a/ET_m που κυμαίνονται από 0.5-1 υπολογίζονται με τη σχέση (6), οι αντίστοιχες τιμές του λόγου Y_a/Y_m. Συσχετίζοντας τις τιμές του $\ln(Y_a/Y_m)$ και του $\ln(ET_a/ET_m)$ εκτιμώνται οι τιμές του λ με τη βοήθεια της σχέσης (7). Με την προαναφερθείσα διαδικασία μπορούν να υπολογιστούν οι τιμές του λ για κάθε περίοδο ανάπτυξης με τη βοήθεια των τιμών του k_y. Στη συνέχεια για την εύρεση των τιμών του λ σε μικρότερα χρονικά διαστήματα εφαρμόζεται η γραφική διαδικασία του Tsakiris [1].

3. ΕΦΑΡΜΟΓΗ - ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Στην εργασία αυτή εφαρμόστηκαν οι σχέσεις (1), (3) και (4) για τις καλλιέργειες καλαμποκιού, βαμβακιού και βιομηχανικής ντομάτας για την εύρεση της σχετικής απόδοσης Y_a/Y_m για διάφορες τιμές της σχετικής εξατμισοδιαπνοής ET_a/ET_m. Οι τιμές του συντελεστή ανταπόκρισης της παραγωγής k_y πάρθηκαν από τους Doorenbos and Kassam [6]. Στη συνέχεια εφαρμόστηκε η διαδικασία που περιγράφηκε στην προηγούμενη παράγραφο για το μετασχηματισμό των τιμών του k_y σε λ [4].

Από την ανάλυση συσχέτισης μεταξύ των τιμών του k_y και λ, προέκυψε η σχέση (8) υπολογισμού του λ που έχει τη μορφή:

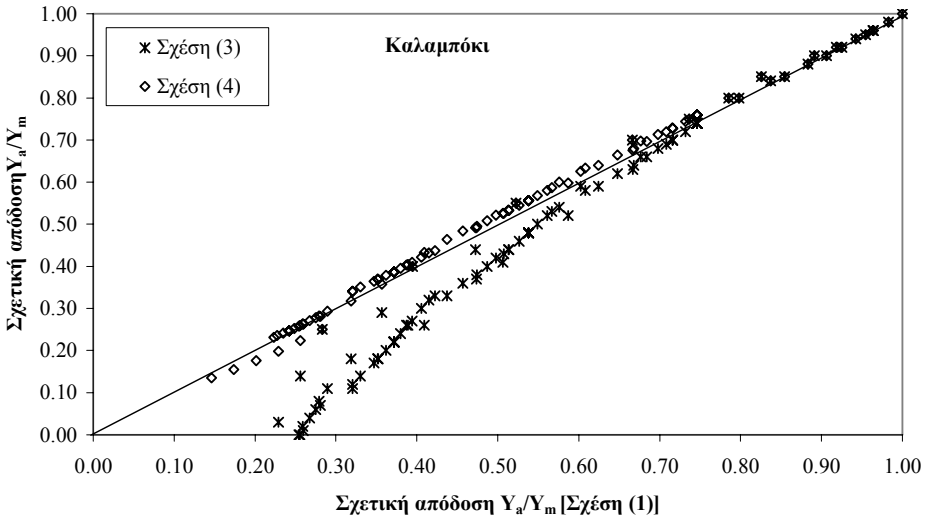
$$\lambda = 0.2418k_y^3 - 0.1768k_y^2 + 0.9464k_y - 0.0177 \ \text{(R2=0.9999)} \quad (8)$$

Για την περίπτωση των παραπάνω καλλιεργειών, με τη βοήθεια της σχέσης (8) και των τιμών των συντελεστών ανταπόκρισης k_y κάθε περιόδου ανάπτυξης, υπολογίστηκαν οι τιμές των συντελεστών ευαισθησίας λ κάθε περιόδου ανάπτυξης και δίνονται στον *Πίνακα 1*.

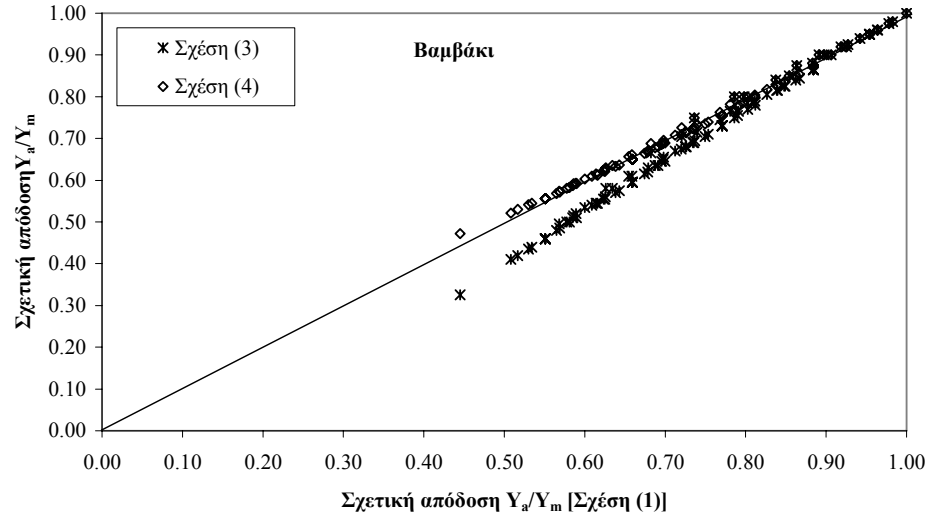
Πίνακας 1. Διάρκεια περιόδων ανάπτυξης βλαστικής περιόδου και συντελεστές ανταπόκρισης της παραγωγής (k_y) και ευαισθησίας (λ) των ετήσιων καλλιεργειών

	Περίοδος Ανάπτυξης Βλαστικής Περιόδου				
	Εγκατάσταση	**Βλάστηση**	**Ανθοφορία**	**Σχηματισμός καρπών**	**Ωρίμανση**
			Καλαμπόκι		
Διάρκεια	25	40	25	45	15
k_y	0.00	0.40	1.50	0.50	0.20
Λ	0.00	0.3480	1.8202	0.4415	0.1664
			Βαμβάκι		
Διάρκεια	15	30	60	30	20
k_y	0.00	0.20	0.50	0.40	0.25
Λ	0.00	0.1664	0.4415	0.3480	0.2116
			Βιομηχανική Ντομάτα		
Διάρκεια	25	20	25	25	20
k_y	0.00	0.40	1.10	0.80	0.40
Λ	0.00	0.3480	1.1312	0.7501	0.3480

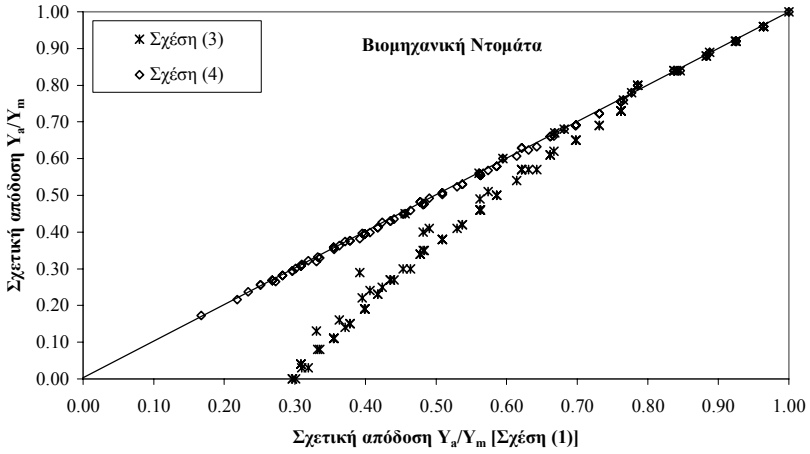
Στη συνέχεια για διάφορες τιμές σχετικής εξατμισοδιαπνοής $ET_a/ET_m \geq 0.5$ στις διάφορες περιόδους ανάπτυξης βλαστικής περιόδου και για διάφορους συνδυασμούς υπολογίστηκαν οι τιμές της σχετικής απόδοσης Y_a/Y_m με τις σχέσεις (1), (3) και (4). Στα *Σχήματα 1, 2 και 3* φαίνεται η σύγκριση ανάμεσα στις τιμές της σχετικής απόδοσης για τις καλλιέργειες του καλαμποκιού, του βαμβακιού και της βιομηχανικής ντομάτας όπως υπολογίστηκαν από τις σχέσεις (1), (3) και (4).



Σχήμα 1. Σύγκριση ανάμεσα στις τιμές της σχετικής απόδοσης για την καλλιέργεια του Καλαμποκιού όπως υπολογίζονται από τις σχέσεις (1), (3) και (4).



Σχήμα 2. Σύγκριση ανάμεσα στις τιμές της σχετικής απόδοσης για την καλλιέργεια του Βαμβακιού όπως υπολογίζονται από τις σχέσεις (1), (3) και (4)



Σχήμα 3. Σύγκριση ανάμεσα στις τιμές της σχετικής απόδοσης για την καλλιέργεια της Βιομηχανικής Ντομάτας όπως υπολογίζονται από τις σχέσεις (2), (5) και (6)

Από τα *Σχήματα 1,2 και 3* προκύπτει ότι οι σχέσεις (1) και (4) δίνουν παρόμοια αποτελέσματα με διαφορές που δεν ξεπερνούν το 5% για το καλαμπόκι, το 2.5% για το βαμβάκι και το 2% για τη βιομηχανική ντομάτα. Αντίθετα μεταξύ των σχέσεων (1) και (3) υπάρχουν αρκετές διαφορές οι οποίες εντοπίζονται στα εξής: (α) Για σχετικές αποδόσεις μικρότερες του 0.50 οι διαφορές είναι πολύ έντονες. Μάλιστα υπάρχουν περιπτώσεις όπου μπορούν να προκύψουν και αρνητικές τιμές σχετικής απόδοσης με την εφαρμογή της σχέσης (3) στις καλλιέργειες του καλαμποκιού και της βιομηχανικής ντομάτας. Το γεγονός αυτό οφείλεται στο ότι σε κάποιες περιόδους ανάπτυξης υπάρχουν τιμές του k_y μεγαλύτερες του 1 γεγονός που επιφέρει μεγάλη μείωση στην απόδοση όπως ειπώθηκε προηγούμενα. (β) Για σχετικές αποδόσεις μεγαλύτερες από 0.50 οι διαφορές κυμαίνονται από 0-19% για το καλαμπόκι και το βαμβάκι και 0-25% για τη βιομηχανική ντομάτα.

Από τα παραπάνω προκύπτει, ότι οι σχέσεις (1) και (4) δίνουν παρόμοια αποτελέσματα ενώ αντίθετα η σχέση (3) δίνει διαφορετικά αποτελέσματα και μάλιστα παρουσιάζονται προβλήματα στην εφαρμογή της εξαιτίας του ότι προκύπτουν μη ρεαλιστικά αποτελέσματα ορισμένες φορές (αρνητικές τιμές σχετικής απόδοσης).

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην περίπτωση ελλειμματικών αρδεύσεων, η βέλτιστη διαχείριση του αρδευτικού νερού έχει σχέση, τόσο με την ποσότητα του αρδευτικού νερού που χορηγείται, όσο και με τη χρονική στιγμή της εφαρμογής του. Για το λόγο αυτό, δημιουργήθηκε η αναγκαιότητα διερεύνησης σχέσεων απόδοσης καλλιεργειών σε σχέση με τη διαθεσιμότητα νερού. Στην εργασία αυτή γίνεται διερεύνηση και συγκριτική αξιολόγηση των διαφόρων σχέσεων απόδοσης καλλιεργειών σε σχέση με τη διαθεσιμότητα νερού. Οι σχέσεις αυτές είναι το κλασικό πολλαπλασιαστικό μοντέλο του Jensen [σχέση (1)], το αθροιστικό μοντέλο [σχέση (3)] και το πολλαπλασιαστικό μοντέλο [σχέση (4)] των Doorenbos-Kassam όπως προτάθηκαν από τους Rao et al. Η διερεύνηση και συγκριτική αξιολόγηση αναφέρεται σε διάφορες καλλιέργειες και εφαρμόζεται για συνθήκες ανεπάρκειας νερού σε μεμονωμένες και συνδυασμένες περιόδους ευαισθησίας και ελέγχεται η επίδραση στην απόδοση των καλλιεργειών με σκοπό τη βέλτιστη χρήση του αρδευτικού νερού. Από τη συγκριτική ανάλυση για την

περίπτωση των καλλιεργειών καλαμποκιού, βαμβακιού και βιομηχανικής ντομάτας προέκυψε ότι οι σχέσεις (1) και (4) δίνουν παρόμοια αποτελέσματα ενώ αντίθετα η σχέση (3) δίνει διαφορετικά αποτελέσματα και παρουσιάζει προβλήματα στην εφαρμογή της εξαιτίας της εμφάνισης για κάποιες περιπτώσεις και αρνητικών τιμών σχετικής απόδοσης.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Tsakiris, G., 1982. A method for applying crop sensitivity factors in irrigation scheduling. *Agric. Water Manage.,* 5: 335-343.
2. Kirda, C., Moutonnet, P., Hera, C. and Nielsen, D.R., 1999. *Crop yield response to deficit irrigation.* Kluwer Academic Publishers, 262 p.
3. Kipkorir, E.C. and Raes, D., 2002. Transformation of yield response factor into Jensen's sensitivity index. *Irrig. and Drain. Sys.,* 16: 47-52.
4. Γεωργίου, Π.Ε., 2004. *Βελτιστοποίηση λειτουργίας ταμιευτήρων για αρδευτικούς σκοπούς.* Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Γεωπονίας Α.Π.Θ., 341 σελ.
5. Jensen, M.E., 1968. *Water consumption by agricultural plants.* In: T.T. Kozlowski (ed.), Water Deficits and Plants Growth, Vol. II. Academic Press, New York, 1-22.
6. Doorenbos, J. and Kassam, A.H., 1979. *Yield response to water.* FAO Irrigation and Drainage Paper, No 33, Rome, 193 p.
7. Rao, N.H., Sarma, P.B.S. and Chander, S., 1988. A simple dated water-production function for use in irrigated agriculture. *Agric. Water Manage.,* 13: 25-32.
8. Hanks, R.J. and Hill, R.W., 1980. *Modeling crop responses to irrigation in relation to soils, climate and salinity.* International Irrigation Information Centre, Bet Dagan, Israel, 66 p.
9. Stewart, J.I., 1980. *Planning and managing irrigation projects for optimal water use efficiency.* In S.S. John (Editor), Irrigation and Agriculture Development, Pergamon, Oxford, 147-160.
10. Martin, D.L., Watts, D.G. and Gilley, J.R., 1983. Model and production function for irrigation management. *J. Irrig. Drain. Eng. ASCE*, 110(2): 149-164.
11. Zhang, H. and Oweis, T., 1999. Water-yield relations and optimal irrigation scheduling of wheat in the Mediterranean region. *Agric. Water Manage.,* 38, 195-211.
12. Nairizi, S. and Rydzewski, J.R., 1977. Effects of dated soil moisture stress on crop yields. *Exp. Agr.*, 13: 51-59.
13. Aryan, A., 1992. *Modification of the CRPSM model for irrigation scheduling and management and yield prediction of winter Wheat (Triticum aestivum L., Adle cv.) (in Persian).* M.Sc. Thesis, Irrigation Department, Shiraz, Iran, 377 p.
14. Ghahraman, B. and Sepaskhah, A.R., 1997. Use of a water deficit sensitivity index for partial irrigation scheduling of Wheat and Barley. *Irrig. Sci.,* 18: 11-16.
15. Hall, W.A. and Butcher, W.S., 1968. Optimal timing of irrigation. *J. Irrig. Drain. Div. ASCE,* 94(2): 267-275.
16. Minhas, B.S., Parikh, K.S. and Srinivasan, T.N., 1974. Toward the structure of a production function for wheat yields with data inputs of irrigation water. *Water Resour. Res.,* 10(3): 383-393.
17. Παπαζαφειρίου, Ζ.Γ., 1999. *Οι ανάγκες σε νερό των καλλιεργειών.* Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη, 347 σελ.
18. Raes, D., 2002. *BUDGET A soil water and salt balance model.* Reference Manual, Version 5.0, K.U. Leuven, 79 p.

(161)

ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΔΙΑΚΟΠΤΟΜΕΝΗΣ ΠΑΡΟΧΗΣ ΝΕΡΟΥ ΣΕ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΤΑΓΔΗΝ ΑΡΔΕΥΣΗΣ

Π. Βύρλας[1] και Μ. Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη[1]
[1] Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Τμ. Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής & Αγροτικού Περιβάλλοντος, Εργαστήριο Γεωργικής Υδραυλικής, Οδός Φυτόκου, 38446, Ν. Ιωνία Μαγνησίας, hydrolab@agr.uth.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στόχος της εργασίας αυτής είναι η αξιολόγηση της επίδρασης της διακοπτόμενης εφαρμογής νερού από ένα σύστημα στάγδην άρδευσης στα ζαχαρότευτλα. Οι μεταχειρίσεις του πειράματος περιελάμβαναν συνδυασμούς του συστήματος (επιφανειακή και υποεπιφανειακή στάγδην) και της εφαρμογής του νερού (συνεχής και διακοπτόμενη παροχή). Τα αποτελέσματα αποδεικνύουν ότι τα τεμάχια που αρδεύτηκαν μέσω της διακοπτόμενης άρδευσης υπερέβησαν σε απόδοση και ποιότητα αυτά που αρδεύτηκαν μέσω της συμβατικής εφαρμογής ενώ η διακοπτόμενη εφαρμογή συνετέλεσε στην πιο ομοιόμορφη κατατομή της εδαφικής υγρασίας.

APPLICATION OF PULSE WATER APPLICATION IN DRIP IRRIGATION SYSTEMS

P. Vyrlas[1] and M. Sakellariou-Makrantonaki[1]
University of Thessaly, School of Agricultural Science, Dept. of Agriculture Crop Production & Rural Environment, Agricultural Hydraulics Laboratory, Fytokou Str, 38446, N. Ionia Magnesias, hydrolab@agr.uth.gr

ABSTRACT

The objective of this work was the evaluation of pulse (intermittent) drip irrigation applied on sugar beet. The experimental investigation included combinations of drip irrigation system (surface and subsurface drip) and water application (continuous and pulse discharge). The data analysis indicated that the plots irrigated using pulse irrigation exceeded those irrigated by conventional drip both in sugar beet yield and quality. Also, the pulsed application resulted in a more uniform distribution water in soil.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Κατά την εφαρμογή της άρδευσης, η κίνηση του νερού προκαλείται από τις τριχοειδείς δυνάμεις, οι οποίες έχουν την ίδια ένταση προς όλες τις κατευθύνσεις, καθώς επίσης και από την δύναμη της βαρύτητας, η οποία είναι συνεχής και με κατεύθυνση προς τα κάτω. Οι τριχοειδείς δυνάμεις ελαττώνονται, καθώς η υγρασία του εδάφους αυξάνεται. Επομένως σε ξηρό έδαφος οι τριχοειδείς δυνάμεις είναι κατά πολύ μεγαλύτερες από ότι η δύναμη της βαρύτητας και ωθούν το νερό εξίσου προς όλες τις κατευθύνσεις. Καθώς το έδαφος υγραίνεται, οι πόροι του καθίστανται κορεσμένοι και οι τριχοειδείς δυνάμεις εξασθενούν επιτρέποντας στην δύναμη της βαρύτητας να επικρατήσει. Κατά συνέπεια η κίνηση του νερού καθίσταται κυρίως κατακόρυφη [1]. Η απλή και βασική αυτή αρχή υποδηλώνει ότι το αρδευτικό νερό πρέπει να εφαρμόζεται σε συχνές και μικρές δόσεις, ούτως ώστε η κίνηση του νερού στο έδαφος να καθορίζεται κυρίως από την δράση των τριχοειδών δυνάμεων.

Αυτή η θεώρηση οδήγησε στην υπόθεση ότι η εφαρμογή του νερού από τους σταλάκτες, τόσο στην ΥΣΑ αλλά και στην ΕΣΑ, με ρυθμούς μικρότερους των συμβατικών, μπορεί να διαμορφώνουν ένα υγρασιακό περιβάλλον στο ριζόστρωμα που να ευνοεί την καλύτερη ανάπτυξη και μεγαλύτερη απόδοση της καλλιέργειας. Έτσι, αναπτύχθηκε η τεχνική της διακοπτόμενης εφαρμογής του νερού, τεχνική που καταλήγει στην μικρότερη ένταση εφαρμογής του νερού σε σχέση με την συμβατική.

Διάφορες τεχνικές διακοπτόμενης εφαρμογής του νερού έχουν τύχει εφαρμογής στις επιφανειακές μεθόδους άρδευσης (surge irrigation) [2] και σε καλλιέργειες που αναπτύσσονται σε θερμοκήπια (pulse irrigation) [3].

Η στάγδην άρδευση συγκαταλέγεται ανάμεσα στις σύγχρονες μεθόδους άρδευσης και χαρακτηρίζεται από υψηλή αποδοτικότητα χρήσης νερού, τόσο στην επιφανειακή όσο και στην υποεπιφανειακή εφαρμογή της. Μολονότι η επιφανειακή στάγδην άρδευση έχει υιοθετηθεί από τους καλλιεργητές, η υποεπιφανειακή δεν έχει τύχει ακόμα εφαρμογής της από αυτούς παρ' όλο που τα πλεονεκτήματά της έχουν αποδειχθεί και από εγχώριες ερευνητικές μελέτες σε διάφορες καλλιέργειες, συμπεριλαμβανομένων και των ζαχαροτεύτλων [4, 5, 6].

Η διακοπτόμενη άρδευση δεν έχει τύχει έως τώρα ιδιαίτερης μελέτης και δεν έχει εφαρμοσθεί με συστήματα στάγδην σε συνθήκες αγρού [7]. Για την διερεύνηση της επίδρασης της διακοπτόμενης εφαρμογής νερού από ένα σύστημα στάγδην άρδευσης στις καλλιέργειες, εκτελέσθηκε πειραματική έρευνα, διετούς διάρκειας, σε καλλιέργεια ζαχαροτεύτλων, σε αγρό του Αγροκτήματος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, όπου εγκαταστάθηκαν συστήματα υποεπιφανειακής και επιφανειακής στάγδην άρδευσης.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Τα πειράματα διεξήχθησαν στο Αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας στο Βελεστίνο, κατά τις καλλιεργητικές περιόδους των ετών 2003 και 2004. Η έκταση του πειραματικού αγρού είναι επίπεδη με υψόμετρο 70 μέτρα πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας και γεωγραφικές συντεταγμένες 39° 23΄ Βόρειο Γεωγραφικό Πλάτος και 22° 45΄ Ανατολικό Γεωγραφικό Μήκος. Το έδαφος στη θέση του πειραματικού αγρού έχει υφή αμμοαργιλοπηλώδη έως αργιλώδη και κοκκομετρική σύσταση μετρίως λεπτόκκοκη έως λεπτόκοκκη. Η κατάσταση υδρομορφίας είναι καλή με Β βαθμό αποστράγγισης και βελτιώνεται με το βάθος του εδάφους εξαιτίας της πετρώδους σύστασής του. Έχει πολύ καλά αναπτυγμένο πορώδες αποτελούμενο κυρίως από μικρού και μέσου μεγέθους πόρους [8].

Το πειραματικό σχέδιο περιελάμβανε τέσσερις μεταχειρίσεις σε τέσσερις επαναλήψεις. Οι μεταχειρίσεις που εφαρμόσθηκαν ήταν:

- Επιφανειακή (συμβατική) εφαρμογή νερού (ΕΣ). Συνεχής εφαρμογή του νερού καθ' όλη τη διάρκεια άρδευσης μέσω του επιφανειακού συστήματος στάγδην με παροχή σταλακτών 2,3 L/h.
- Επιφανειακή διακοπτόμενη εφαρμογή (ΕΔ). Διακοπτόμενη εφαρμογή του νερού μέσω επιφανειακού συστήματος στάγδην με παροχή σταλακτών 2,3 L/h. Τον αρδευτικό κύκλο διάρκειας μιας ώρας ακολουθούσε παύση της άρδευσης ίδιας διάρκειας.
- Υποεπιφανειακή εφαρμογή νερού (ΥΣ). Συνεχής εφαρμογή του νερού καθ' όλη τη διάρκεια άρδευσης μέσω του υποεπιφανειακού συστήματος στάγδην με παροχή σταλακτών 2,3 L/h.
- Υποεπιφανειακή διακοπτόμενη εφαρμογή (ΕΔ). Διακοπτόμενη εφαρμογή του νερού μέσω υποεπιφανειακού συστήματος στάγδην με παροχή σταλακτών 2,3 L/h. Τον αρδευτικό κύκλο διάρκειας μιας ώρας ακολουθούσε παύση της άρδευσης ίδιας διάρκειας.

Η δόση άρδευσης που υπολογιζόταν κατά την διαδικασία του προγραμματισμού άρδευσης, ήταν η ίδια για όλες τις επιφανειακές και διαφορετική αλλά ίδια για όλες τις υποεπιφανειακές μεταχειρίσεις. Ανάμεσα στις επιφανειακές ή τις υποεπιφανειακές υπήρχε διαφοροποίηση ως προς την μέση ένταση της εφαρμογής αφού η αυτή ποσότητα νερού, εφαρμοζόταν σε διαφορετικές διάρκειες άρδευσης (περιλαμβανομένων και των παύσεων στην διακοπτόμενη εφαρμογή).

Της εγκατάστασης της καλλιέργειας προηγήθηκε η εγκατάσταση του υποεπιφανειακού συστήματος στάγδην άρδευσης. Οι υποεπιφανειακοί πλευρικοί τοποθετήθηκαν με τη χρήση υπεδαφοθέτη σε βάθος 0,45 m, σε ισαποχή 1 m. Η εγκατάσταση του επιφανειακού δικτύου άρδευσης έγινε αργότερα, όταν η ανάπτυξη των φυτών ήταν στο στάδιο του β΄ ζεύγους πραγματικών φύλλων. Όπως και στο υποεπιφανειακό σύστημα, η απόσταση μεταξύ των σταλακτηφόρων αγωγών ήταν 1,0 m. Έτσι, τόσο στο υπόγειο όσο και στο επιφανειακό δίκτυο ανάμεσα σε δύο σταλακτηφόρους αγωγούς παρεμβάλλονταν δύο σειρές φυτών.

Οι πλευρικοί αγωγοί (κατασκευασμένοι από την Netafim S.A.) από πολυαιθυλένιο, με διάμετρο 20 mm, είχαν ενσωματωμένους αυτορυθμιζόμενους σταλάκτες RAM με παροχή 2,3 L h^{-1} σε ένα εύρος πίεσης από 50 έως 300 kPa, σε ισαποχή 0,8 m. Οι πλευρικοί στο υποεπιφανειακό σύστημα τοποθετήθηκαν με τον σταλάκτη προσανατολισμένο προς την επιφάνεια του εδάφους για την αποφυγή έμφραξης λόγω εδαφικού υλικού που κατακάθεται στο τέλος της άρδευσης.

Η ποσότητα του νερού που εφαρμοζόταν σε κάθε άρδευση ελέγχονταν και καταγραφόταν μέσω μηχανικών υδρομέτρων που ήταν συνδεδεμένα στον δευτερεύοντα αγωγό κάθε μεταχείρισης. Η καταγραφή των μετρήσεων γινόταν τουλάχιστον πριν την έναρξη και με το πέρας της άρδευσης. Ο έλεγχος των υδρομέτρων ήταν συνεχής, σε τακτά διαστήματα κατά τη διάρκεια της άρδευσης, προκειμένου να γίνουν αντιληπτές δυσλειτουργίες ή αστοχίες του συστήματος και κυρίως πιθανές διαρροές.

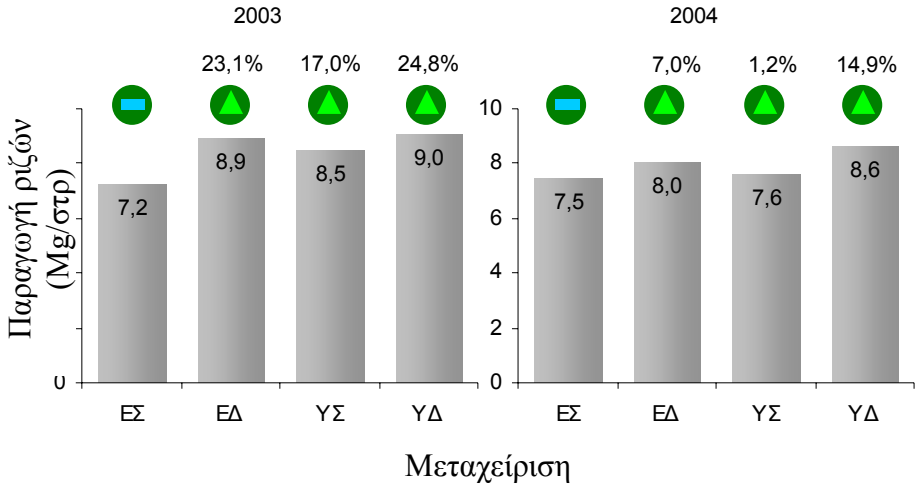
Η διάταξη Time-FM χρησιμοποιήθηκε για μετρήσεις της υγρασίας στην εδαφική κατατομή. Η μορφή της διαβροχής για κάθε μεταχείριση διερευνήθηκε στο πειραματικό αγροτεμάχιο σε όρυγμα που εκσκάφθηκε κάθετα στις γραμμές των πλευρικών. Η θέση του υγρού μετώπου καταγραφόταν με τη βοήθεια ενός πλέγματος (καμβά) που κατασκευάσθηκε με διαστάσεις 1 x 1 m και διαστάσεις πλέγματος 0,1 x 0,1 m.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Στο Σχήμα 1, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της στρεμματικής απόδοσης σε βάρος ριζών για κάθε έτος πειραματισμού. Δίδεται επίσης η διαφοροποίηση της απόδοσης σε κάθε μεταχείριση ως ποσοστό της απόδοσης της επιφανειακής συνεχόμενη (ΕΣ) που θεωρείται η συμβατική.

Και στις δύο καλλιεργητικές περιόδους η διακοπτόμενη άρδευση έδωσε το υψηλότερο νωπό βάρος ριζών. Η αύξηση στην απόδοση της ΥΔ σε σχέση με την συμβατική έφθασε ένα μέσο ποσοστό για τα δύο έτη περίπου 20%. Η ΥΔ υπερείχε και ακολούθησε η ΕΔ. Η διακοπτόμενη υποεπιφανειακή άρδευση (ΥΔ) έδωσε το υψηλότερο νωπό βάρος ριζών διαφέροντας στατιστικώς σημαντικά με τις μεταχειρίσεις που έδωσαν την μικρότερη παραγωγή σε βάρος ριζών, ήτοι την συμβατική επιφανειακή στάγδην (ΕΣ).

Ανάμεσα στις επιφανειακές μεταχειρίσεις ΕΔ και ΕΣ, είναι χαρακτηριστική η υπεροχή της μεταχείρισης ΕΔ αλλά χωρίς σημαντική διαφορά κατά το δεύτερο έτος. Στις υποεπιφανειακές μεταχειρίσεις υπερέχει η ΥΔ χωρίς να διαφέρει σημαντικά.

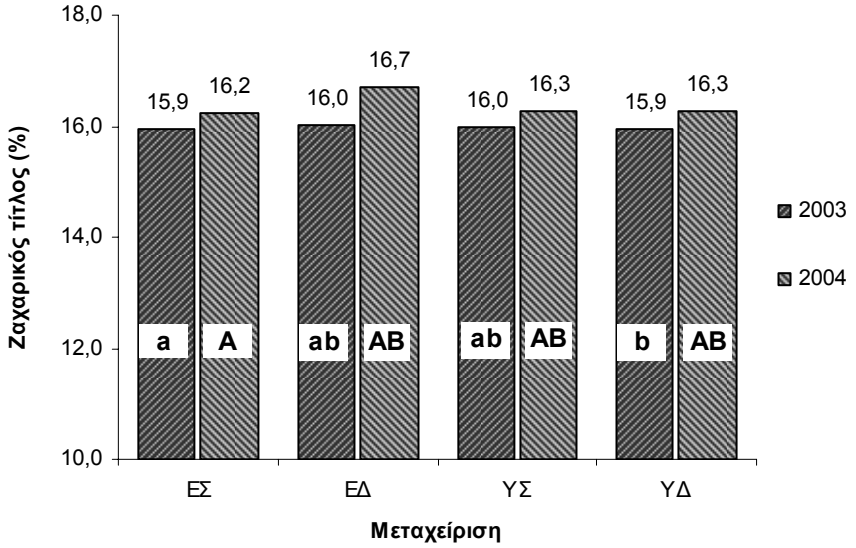


Σχήμα 1. Παραγωγή ριζών για κάθε μεταχείριση και ποσοστιαία διαφοροποίηση σε σχέση με την επιφανειακή (συμβατική) στάγδην.

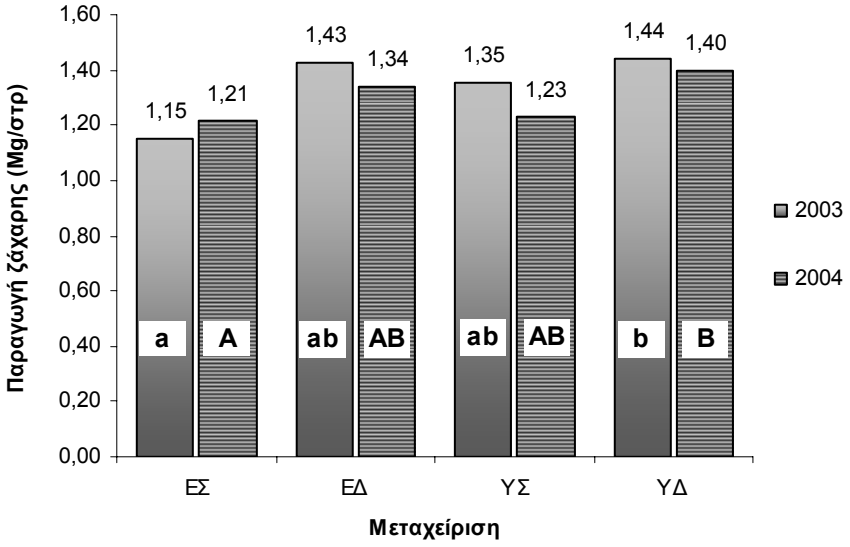
Στο *Σχήμα 2* παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των αναλύσεων των δειγμάτων των ζαχαροτεύτλων που λήφθησαν κατά την συγκομιδή κάθε καλλιεργητικής περιόδου όσον αφορά στον ζαχαρικό τίτλο. Δεν παρατηρείται συστηματική διαφοροποίηση μεταξύ των μεταχειρίσεων κατά τη διάρκεια των δύο καλλιεργητικών περιόδων.

Η παραγωγή ζάχαρης για κάθε μεταχείριση παρουσιάζεται στο *Σχήμα 3* για κάθε καλλιεργητική περίοδο. Η απόδοση σε ζάχαρη έδωσε ανάλογα αποτελέσματα με αυτά της απόδοσης σε βάρος ριζών αφού η περιεκτικότητα σε ζάχαρη δεν παρουσίασε ιδιαίτερη διαφοροποίηση.

Έτσι, οι αρδευόμενες με διακοπτόμενη τεχνική μεταχειρίσεις ΥΔ και ΕΔ έδωσαν την υψηλότερη παραγωγή ζάχαρης ανά στρέμμα και τα τρία έτη. Η μεταχείριση ΥΔ έδωσε την υψηλότερη απόδοση σε ζάχαρη, φθάνοντας μια μέση τιμή για τα δύο έτη 1,42 τόνους ανά στρέμμα και ακολούθησε η ΕΔ με μέση απόδοση για τα δύο έτη 1,38 τόνους ανά στρέμμα.



Σχήμα 2. Τιμές ζαχαρικού τίτλου για κάθε μεταχείριση.

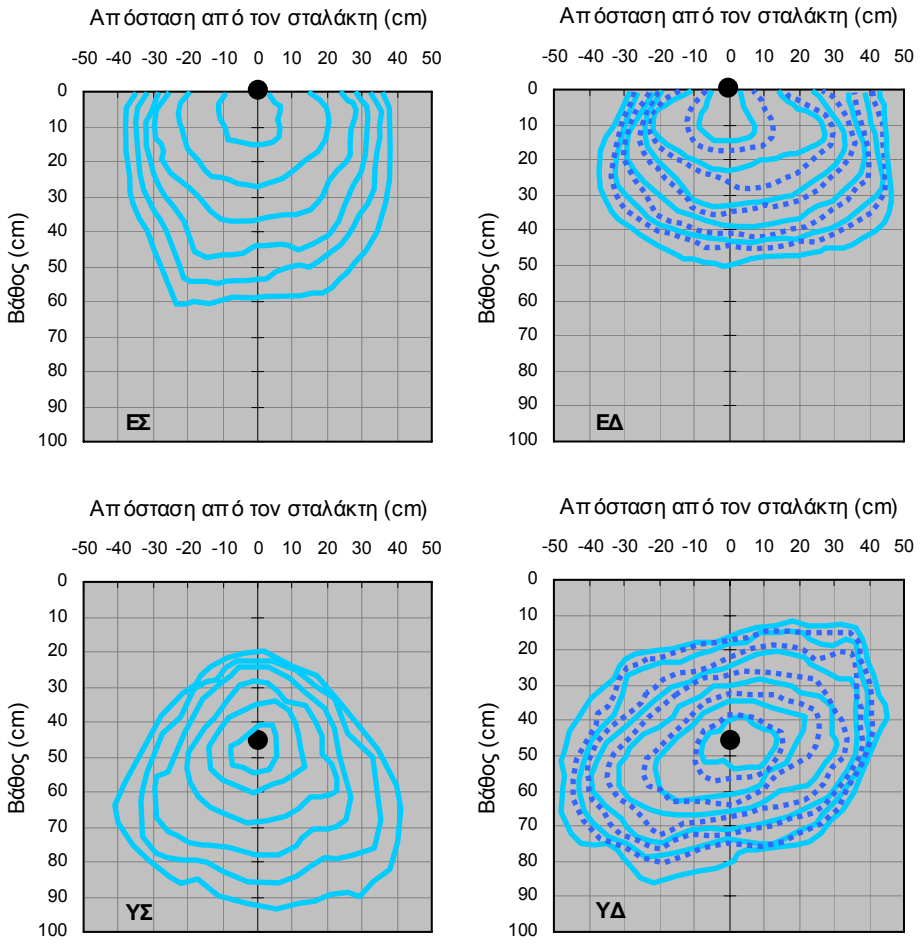


Σχήμα 3. Παραγωγή ζάχαρης για κάθε μεταχείριση.

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων του υγρού μετώπου στο βάθος του εδάφους παρουσιάζονται στο *Σχήμα 4*. Γενική διαπίστωση αποτελεί η αυξημένη οριζόντια ανάπτυξη του υγρού μετώπου στην περίπτωση της διακοπτόμενης άρδευσης, τόσο στο υποεπιφανειακό σύστημα όσο και στο επιφανειακό. Ταυτοχρόνως παρατηρείται σχετικά μικρότερη καθοδική κίνηση στις μεταχειρίσεις της διακοπτόμενης εφαρμογής και ελαφρά μεγαλύτερη ανοδική κίνηση στην ΥΔ σχετικά με την ΥΣ. Στην διακοπτόμενη άρδευση οι επιφάνειες διαβροχής είναι περισσότερο κυκλικές παρά ελλειπτικές.

Ο όρος υγρό μέτωπο όπως χρησιμοποιείται εδώ αναφέρεται ουσιαστικά στην καταγραφή των ορατών διακριτών ορίων μεταξύ διαβρεγμένης και ξηρής επιφάνειας

[1]. Το όριο αυτό σαφώς και δεν αποτελεί το πραγματικό υγρό μέτωπο αφού δεν προσδιορίσθηκε με την μέτρηση της εδαφικής υγρασίας προκειμένου αυτό να προσδιορισθεί επακριβώς, πλην όμως η διαδικασία που ακολουθήθηκε αποτελεί κοινή πρακτική μεταξύ αρκετών ερευνητών που ασχολήθηκαν με το ζήτημα [9, 10]. Παρ' όλη την έλλειψη ακρίβειας στον προσδιορισμό του υγρού μετώπου, η οπτική αυτή καταγραφή αποδίδει την διαφοροποίηση της μορφής της κατανομής του νερού υπό τις διαφορετικές τεχνικές εφαρμογής του.



Σχήμα 4. Καταγραφή του υγρού μετώπου.

Για την αξιολόγηση της κατανομής της υγρασίας σε κάθε μεταχείριση υπολογίσθηκε η ομοιομορφία των τιμών της υγρασίας όπως μετρήθηκαν με την διάταξη Trime-FM χρησιμοποιώντας τον συντελεστή ομοιομορφίας του Cristiansen (CU_θ) (Πίνακας 1). Στον πίνακα δίδονται ακόμη, οι μέγιστες τιμές υγρασίας που καταγράφησαν (θ_{max}) καθώς και η επιφάνεια που κάλυπτε η διαθέσιμη υγρασία του εδάφους (A_{TAW}), υπολογισμένη ως η διαφορά μεταξύ των ισοϋψών υγρασίας της υδατοϊκανότητας και του σημείου μάρανσης, ως ποσοστό επί της συνολικής διαβρεχόμενης επιφάνειας.

Πίνακας 1. Παράμετροι αξιολόγησης της διαβροχής του εδάφους

Μεταχείριση	θ_{max} (% κ.ο.)	CU_{θ} (%)	A_{TAW} (%)
ΕΣ	42,13	38,0	42,8
ΕΔ	33,89	59,6	68,7
ΥΣ	41,09	49,5	46,6
ΥΔ	35,98	58,4	55,9

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα αποτελέσματα της στρεμματικής απόδοσης σε βάρος ριζών έδειξαν πως και στις δύο καλλιεργητικές περιόδους η διακοπτόμενη άρδευση έδωσε το υψηλότερο νωπό βάρος ριζών. Η απόδοση σε ζάχαρη έδωσε ανάλογα αποτελέσματα αφού η περιεκτικότητα σε ζάχαρη δεν παρουσίασε ιδιαίτερη διαφοροποίηση. Έτσι, οι αρδευόμενες με διακοπτόμενη τεχνική μεταχειρίσεις ΥΔ και ΕΔ έδωσαν την υψηλότερη παραγωγή ζάχαρης ανά στρέμμα.

Γενική διαπίστωση αποτέλεσε η αυξημένη οριζόντια ανάπτυξη του υγρού μετώπου στην περίπτωση της διακοπτόμενης άρδευσης, τόσο στο υποεπιφανειακό σύστημα όσο και στο επιφανειακό. Ταυτοχρόνως παρατηρήθηκε σχετικά μικρότερη καθοδική κίνηση στις μεταχειρίσεις της διακοπτόμενης εφαρμογής και ελαφρά μεγαλύτερη ανοδική κίνηση στην ΥΔ σχετικά με την ΥΣ. Στην διακοπτόμενη άρδευση οι επιφάνειες διαβροχής είναι περισσότερο κυκλικές παρά ελλειπτικές.

Τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας συστήνουν πως με τη στρατηγική της διακοπτόμενης άρδευσης μπορεί να επιτευχθεί αύξησης της αποδοτικότητας χρήσης νερού και μείωσης του κινδύνου έκπλυσης από το ριζόστρωμα.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα έρευνα χρηματοδοτήθηκε από το Υπουργείο Εθνικής Παιδείας και Θρησκευμάτων με συγχρηματοδότηση από το Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο της Ευρωπαϊκής Ένωσης, μέσω του προγράμματος υποτροφιών έρευνας «ΗΡΑΚΛΕΙΤΟΣ», στα πλαίσια του 2ου Επιχειρησιακού Προγράμματος Εκπαίδευσης και Αρχικής Επαγγελματικής Κατάρτισης (ΕΠΕΑΕΚ).

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Oron, G., 1981. Simulation of water flow in the soil under sub-surface trickle irrigation with water uptake by roots. *Agric. Water Manage*. 3:179-193.
2. James, L.G., 1988. *Principles of Farm Irrigation System Design*. New York:Wiley.
3. Beeson, R.C., Haydu, J.J., 1995. Pulsing microirrigation for production of container-grown landscape ornamental: I. Plant growth and water conservation. In *Proc. 5th Int'l Microirrigation Congress*, ed. F. R. Lamm, 552-558. St. Joseph, Mich.: ASAE.
4. Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη, Μ., Καλφούντζος, Δ., Παπανίκος, Ν., 2000. Αξιολόγηση της επιφανειακής και υπόγειας στάγδην άρδευσης σε καλλιέργεια ζαχαρότευτλων. *Πρακτικά 2ου Εθνικού Συνεδρίου Εταιρείας Γεωργικών Μηχανικών Ελλάδος* (ΕΓΜΕ), 28-30 Σεπτεμβρίου, Βόλος, σ. 157-164.
5. Sakellariou-Makrantonaki, M., Kalfountzos, D., Vyrlas, P., Kapetanos, B., 2002. Water saving using modern irrigation methods. Proceedings of Hydrorama, 3rd International Forum: Integrated Water Management: The Key to Sustainable Water Resources, EYDAP, March 21-22, Athens, Greece, pp. 96-102.
6. Sakellariou-Makrantonaki M., Kalfountzos, D., Vyrlas, P., 2003. Water saving and yield increase of sugar beet with subsurface drip irrigation. *Global Nest: the International Journal*, 4(2-3):85-91.

7. Elmaloglou, S., Diamantolpoulos, E., 2007. Wetting front advance patterns and water losses by deep percolation under the root zone as influenced by pulsed drip irrigation. *Agric. Water Manage*. 90:160-163.
8. Μήτσιος, Ι., Τούλιος, Μ., Χαρούλης, Α., Γάτσιος, Φ., Φλωράς, Σ., 2000. *Εδαφολογική μελέτη και εδαφολογικός χάρτης του αγροκτήματος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας στην περιοχή του Βελεστίνου*. Εκδόσεις Zymel. Αθήνα.
9. Battam, M.A., Sutton, B.G., 2003. Soil pits as a simple design aid for subsurface drip irrigation systems. *Irrig Sci*. 22:135–141.
10. Hanson, B.R., May, D.M., 2004. Effect of subsurface drip irrigation on processing tomato yield, water table depth, soil salinity, and profitability. *Agric. Water Manage*. 68(1):1-17.

(171)

ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΗΣ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΝΕΡΟΥ ΚΑΙ ΑΖΩΤΟΥ ΣΤΟ ΕΔΑΦΟΣ ΑΓΡΟΥ ΚΑΛΛΙΕΡΓΟΥΜΕΝΟΥ ΜΕ ΚΑΛΑΜΠΟΚΙ ΕΝΣΙΡΩΣΗΣ

Β. Αντωνόπουλος[1], Ε. Λεκάκης[2] και Α. Παυλάτου-Βε[3]
[1]Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Γεωπονική Σχολή, Τομέας Εγγείων Βελτιώσεων, Γεωργικής Μηχανικής και Εδαφολογίας, Τ.Κ. 54124, Θεσσαλονίκη,
[1]vasanton@agro.auth.gr, [2]lekakichr@msn.com, [3]ave@agro.auth.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της εργασίας αυτής ήταν η εφαρμογή και η αξιολόγηση ενός μαθηματικού μοντέλου προσομοίωσης της κίνησης του νερού και της δυναμικής του αζώτου στο έδαφος, σε καλλιέργεια καλαμποκιού ενσίρωσης. Για την εκτίμηση της φαινόμενης πυκνότητας, των παραμέτρων της χαρακτηριστικής καμπύλης του εδάφους και της υδραυλικής αγωγιμότητας κορεσμού χρησιμοποιήθηκαν πεδοσυναρτήσεις από τη διεθνή βιβλιογραφία. Τα αποτελέσματα του μοντέλου έδειξαν ότι οι πεδοσυναρτήσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν ικανοποιητικώς στην πρόβλεψη της διακύμανσης της υγρασίας και της συγκέντρωσης του νιτρικού αζώτου του εδάφους.

SIMULATION OF SOIL WATER AND NITROGEN DYNAMICS IN A SILAGE CORNFIELD.

V. Antonopoulos[1], E. Lekakis[2] and A. Pavlatou – Ve[3]
[1]Aristotle University of Thessaloniki, Sch. of Agriculture, Department of Hydraulics, Soil Science and Agricultural Engineering, 54124, Thessaloniki,
[1]vasanton@agro.auth.gr, [2]lekakichr@msn.com, [3]ave@agro.auth.gr

ANSTRACT

The objective of this work was the application and evaluation of a mathematical model for the simulation of water and nitrogen dynamics in a silage cornfield. Pedotransfer functions (PTFs) were used for the estimation of soil bulk density, the parameters of soil retention curve and saturated hydraulic conductivity. Results showed that simulations with the pedotransfer functions predict the water content and nitrate nitrogen reasonably well.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το αυξημένο ενδιαφέρον για τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις της γεωργίας, έχει εντείνει την επιθυμία για την πρόβλεψη της εποχιακής διακύμανσης και κατανομής της εδαφικής υγρασίας αλλά και των μετασχηματισμών και της μεταφοράς του αζώτου στο έδαφος. Η χρήση μαθηματικών μοντέλων για την προσομοίωση του εδαφικού νερού και αζώτου γίνεται με σκοπό τη βέλτιστη διαχείριση και εφαρμογή τους με τελικό αποτέλεσμα την εξοικονόμηση υδατικών πόρων, την αύξηση της παραγωγής και τον περιορισμό των αρνητικών επιπτώσεων από την περίσσεια αζώτου στο περιβάλλον.

Για τη χρήση μοντέλων για την προσομοίωση της δυναμικής του εδαφικού νερού και της μεταφοράς των ουσιών στο έδαφος απαιτείται η εκτίμηση των υδραυλικών ιδιοτήτων του εδάφους όπως η χαρακτηριστική καμπύλη, η υδραυλική αγωγιμότητα αλλά και η φαινόμενη πυκνότητα. Η άμεση μέτρηση αυτών των ιδιοτήτων είναι μια εξειδικευμένη και χρονοβόρος διαδικασία. Η χρήση πεδοσυναρτήσεων αποτελεί μια πρόκληση για την αντικατάσταση των άμεσων μετρήσεων, καθώς απαιτούνται απλά δεδομένα που προσδιορίζονται με ευκολία και σε σύντομο χρονικό διάστημα [1], [2], [3].

Σκοποί της εργασίας αυτής είναι 1) να εξεταστούν ορισμένες πεδοσυναρτήσεις ως προς την εφαρμογή τους στην προσομοίωση του νερού και του αζώτου, και 2) η εκτίμηση του υδατικού ισοζυγίου και του ισοζυγίου μάζας αζώτου για τη χρονική περίοδο της ανάπτυξης του καλαμποκιού ενσίρωσης και την αμέσως επόμενη περίοδο.

2. ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ WANISIM

2.1. Περιγραφή του μοντέλου WANISIM

Το μοντέλο WANISIM [4], [5] αναπτύχθηκε για την προσομοίωση της δυναμικής του νερού και του αζώτου στο περίπλοκο σύστημα έδαφος - φυτό - ατμόσφαιρα. Βασίζεται στην αριθμητική επίλυση των εξισώσεων που περιγράφουν τη ροή του νερού και τη μεταφορά και τους μετασχηματισμούς του αζώτου, σε έδαφος μεταβαλλόμενου βαθμού κορεσμού, με τη μέθοδο Galerkin των πεπερασμένων στοιχείων.

2.2. Υδραυλικές ιδιότητες του εδάφους

Για την επίλυση της εξίσωσης κίνησης του νερού, απαιτείται ο προσδιορισμός των συναρτησιακών σχέσεων της εδαφικής υγρασίας θ(h) και της υδραυλικής αγωγιμότητας K(h). Το μοντέλο WANISIM χρησιμοποιεί τις εξισώσεις του van Genuchten [9] για τη χαρακτηριστική καμπύλη και την υδραυλική αγωγιμότητα που έχουν ως εξής:

$$\theta = \theta_r + (\theta_s - \theta_r)/[1 + (\alpha|h|)^n]^m, \quad m = 1 - 1/n \tag{1}$$

$$K(h) = K_{sat}\, K_r = K_{sat}\left\{1 - (\alpha h)^{n-1} \cdot [1 + (\alpha h)^n]^{-m}\right\}/[1 + (\alpha h)^n]^{m/2} \tag{2}$$

όπου θ είναι η περιεχόμενη εδαφική υγρασία ($cm^3\ cm^{-3}$), θ_r και θ_s είναι η υπολειμματική και η υγρασία κορεσμού αντίστοιχα ($cm^3\ cm^{-3}$), h είναι το ύψος πίεσης (cm), α και n είναι εμπειρικές σταθερές και K_{sat} είναι η υδραυλική αγωγιμότητα κορεσμού ($cm\ hr^{-1}$). Μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί και η σχέση του Gardner [10] υπολογισμού της υδραυλικής αγωγιμότητας:

$$K(h) = K_{sat}/(1 + (b \cdot h)^{\lambda}) \tag{3}$$

όπου b και λ είναι εμπειρικές παράμετροι.

Με πεδοσυναρτήσεις είναι δυνατόν να εκτιμηθούν οι παράμετροι των συναρτήσεων της χαρακτηριστικής καμπύλης και της υδραυλικής αγωγιμότητας από τις φυσικές ιδιότητες του εδάφους που εύκολα προσδιορίζονται στο εργαστήριο.

Οι Vereecken et al. [11] πρότειναν πεδοσυναρτήσεις για τις τέσσερις παραμέτρους

της εξίσωσης της χαρακτηριστικής καμπύλης του van Genuchten (1). Η μορφή των συναρτήσεων αυτών και ο συντελεστής συσχέτισης για κάθε σχέση δίνονται παρακάτω.

$$\theta s = 0{,}838 - 0{,}283(\rho b) + 0{,}0013(Cl),\ r^2 = 0{,}849 \quad (4)$$

$$\theta r = 0{,}015 + 0{,}005(Cl) + 0{,}014(C),\ r^2 = 0{,}702 \quad (5)$$

$$\ln(\alpha) = -2{,}486 + 0{,}025(Sa) - 0{,}351(C) - 2{,}617(\rho b) - 0{,}023(Cl),\ r^2 = 0{,}621 \quad (6)$$

$$\ln(n) = 0{,}053 - 0{,}009(Sa) - 0{,}013(Cl) + 0{,}00015(Sa)2,\ r^2 = 0{,}556 \quad (7)$$

όπου ρ_b (gr cm^{-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.

Οι Vereecken et al. [11] πρότειναν και τις εξής πεδοσυναρτήσεις για την εκτίμηση των παραμέτρων της σχέσεως του Gardner (εξ. 3) για την υδραυλική αγωγιμότητα:

$$\ln(Ksat) = 20{,}62 - 0{,}96\ln(Cl) - 0{,}66\ln(Sa) - 0{,}46\ln(C) - 8{,}43(\rho b),\ r2 = 0{,}2 \quad (8)$$

$$\ln(b) = -0{,}73 - 0{,}0187(Sa) + 0{,}058(Cl),\ r2 = 0{,}315 \quad (9)$$

$$\ln(\lambda) = 1{,}186 - 0{,}194\ln(Cl) - 0{,}0489\ln(Si),\ r2 = 0{,}533 \quad (10)$$

όπου Si είναι το ποσοστό της περιεχόμενης ιλύος.

Οι Saxton et al. [12] πρότειναν σχέσεις για τον προσδιορισμό της περιεχόμενης υγρασίας εδάφους σε διάφορα ύψη πίεσης ως εξής:

$$\theta = (h/A)1/B, \text{ για } 100 < h \leq 15.000 \quad (11)$$

$$\theta = \theta 100 + (100 - h)(\theta s - \theta 100)/(100 - he), \text{ για } he < h \leq 100 \quad (12)$$

$$\theta = \theta s, \text{ για } 0 \leq h \leq he \quad (13)$$

όπου θ_{100} είναι η υγρασία σε ύψος πίεσης h = 100 cm, A και B είναι σταθερές και h_e είναι η πίεση των φυσαλίδων αέρα που προσδιορίζονται ως εξής:

$$\ln(A) = -4{,}396 - 0{,}0715\ (Cl) - 4{,}880 \cdot 10\text{-}4\ (Sa)2 - 4{,}285 \cdot 10\text{-}5\ (Sa)2 \quad (14)$$

$$\ln(B) = -3{,}140 - 0{,}00222\ (Cl)2 - 3{,}484 \cdot 10\text{-}5\ (Sa)2\ (Cl) \quad (15)$$

$$\theta s = 0{,}332 - 7{,}251 \cdot 10\text{-}4\ (Sa) + 0{,}1276\ \log10(Cl) \quad (16)$$

$$he = 1000\ (-0{,}108 + 0{,}341\ \theta s) \quad (17)$$

$$\ln(\theta 100) = [2{,}302 - \ln(A)]/B \quad (18)$$

Με το πρόγραμμα Rosetta [13] και δεδομένα εισόδου την κοκκομετρική σύσταση, τη φαινόμενη πυκνότητα και τις τιμές της περιεχόμενης υγρασίας σε ύψη πίεσης 33 και 1500 kPa, υπολογίζονται οι παράμετροι θ_s, θ_r, α, n και K_{sat} της εξίσωσης του van Genuchten.

Οι Wösten et al. [14] μελέτησαν μια σειρά από συνεχείς πεδοσυναρτήσεις σε εδάφη της Ευρωπαϊκής βάσης δεδομένων HYPRES. Πρότειναν σχέσεις που συνυπολογίζουν την επίδραση του βάθους του εδάφους με την εισαγωγή μιας μεταβλητής, topsoil, που λαμβάνει τις τιμές 0 ή 1 ανάλογα με το βάθος. Το επιφανειακό έδαφος θεωρείται ότι φτάνει μέχρι το βάθος των 25 cm [15].

3. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Τα απαραίτητα πειραματικά δεδομένα συγκεντρώθηκαν από πειραματικό τεμάχιο έκτασης 0,15 στρεμμάτων στο Αγρόκτημα του Α.Π.Θ.. Η σπορά πραγματοποιήθηκε στις 30 Απριλίου με την ποικιλία αραβοσίτου PR 31G98, σε αποστάσεις 0,80 m μεταξύ των γραμμών και 0,15 m επί της γραμμής. Η πυκνότητα των σπόρων ήταν 88.000 φυτά/εκτάριο. Στις 19 Απριλίου εφαρμόστηκαν 22 kg N ανά στρέμμα (82% NH_4-N και 18% NO_3-N). Με τις αρδεύσεις εφαρμοστήκαν 355 mm νερού και η βροχόπτωση από 5 Απριλίου έως 28 Ιουλίου ανήλθε σε 98,4 mm. Η μέθοδος άρδευσης ήταν καταιονισμός. Η καλλιέργεια συγκομίστηκε στις 9 Αυγούστου, στο στάδιο του ενσιρώματος.

Η φαινόμενη πυκνότητα, ρ_b, για κάθε στρώση του εδάφους, εκτιμήθηκε με βάση τα ποσοστά της οργανικής ουσίας και τη μηχανική σύσταση, ως η μέση τιμή των τιμών που

προέκυψαν από 5 διαφορετικές πεδοσυναρτήσεις που επιλέχθηκαν από τη διεθνή βιβλιογραφία [6], [7], [8]. Οι φυσικές ιδιότητες του εδάφους δίνονται στον Πίνακα 1.

Πίνακας 1. Φυσικές ιδιότητες του εδάφους

Βάθος	Άμμος (%)	Ιλύς (%)	Άργιλος (%)	ρ_b	Χαρακτηρισμός
0-25	67,46	19,46	13,08	1,345	sandy loam
25-45	72,42	18,38	9,2	1,474	sandy loam
45-65	80,46	15,22	4,32	1,546	loamy sand
65-120	80,22	13,34	6,44	1,53	loamy sand

Στον Πίνακα 2 δίνονται οι τιμές των παραμέτρων της εξίσωσης του van Genuchten για τη χαρακτηριστική καμπύλη και η κορεσμένη υδραυλική αγωγιμότητα όπως υπολογίστηκαν από τα δεδομένα του πειραματικού αγρού για τις τέσσερις στρώσεις εδάφους με εφαρμογή τριών διαφορετικών ομάδων πεδοσυναρτήσεων.

Πίνακας 2. Παράμετροι των εξισώσεων του van Genuchten

Πεδοσυναρτήσεις	Βάθος cm	θ_s $cm^3\ cm^{-3}$	θ_r $cm^3\ cm^{-3}$	a cm^{-1}	n	K_{sat} $cm\ hr^{-1}$
Vereecken et al.	0-25	0,4744	0,0945	0,0069	0,9593	2,349
	25-45	0,4328	0,0667	0,0075	1,0707	1,606
	45-65	0,4061	0,0396	0,0091	1,2761	2,251
	65-120	0,4134	0,0518	0,0087	1,2369	1,447
Wösten et al.	0-25	0,4429	0,01	0,0546	1,2757	4,047
	25-45	0,4064	0,01	0,0619	1,3263	1,882
	45-65	0,3825	0,01	0,0617	1,4357	1,781
	65-120	0,3847	0,01	0,0685	1,3922	1,868
Saxton et al.	0-25	0,4293	0,0405	0,0383	1,3434	3,956
	25-45	0,3891	0,0333	0,0360	1,3521	2,645
	45-65	0,3660	0,0253	0,0407	1,3737	2,922
	65-120	0,3762	0,0294	0,0411	1,3706	3,123

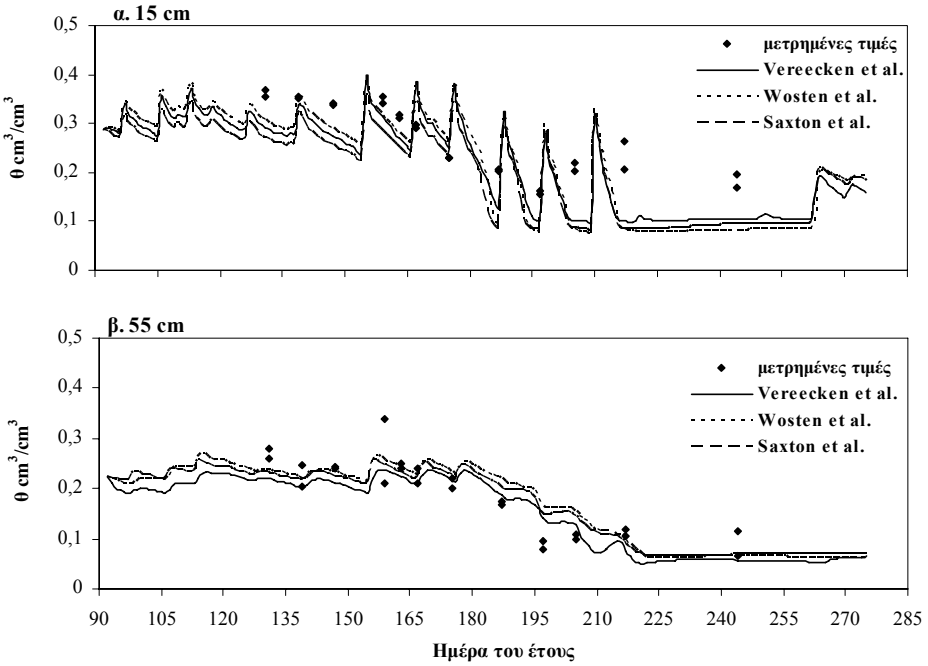
Στον πειραματικό αγρό λαμβάνονταν δείγματα εδάφους κάθε 7 έως 15 ημέρες σε αντιπροσωπευτικό βάθος κάθε εδαφικής στρώσεως. Στα δείγματα προσδιοριζόταν η περιεχόμενη εδαφική υγρασία και η συγκέντρωση του ανόργανου και ολικού αζώτου. Διάφορα χαρακτηριστικά της ανάπτυξης των φυτών μετρήθηκαν κατά τη διάρκεια της βλαστικής περιόδου του καλαμποκιού. Οι μετρήσεις αυτές περιλάμβαναν το δείκτη φυλλικής επιφάνειας (LAI), το ύψος των φυτών, τον αριθμό των φύλλων, την ξηρά φυτομάζα και το περιεχόμενο ολικό άζωτο των φυτών.

Η εξατμισοδιαπνοή αναφοράς υπολογίστηκε από τα ημερήσια μετεωρολογικά δεδομένα από το σταθμό της Μίκρας. Ως σταθερές των μετασχηματισμών του αζώτου στο έδαφος, χρησιμοποιήθηκαν τιμές από τη βιβλιογραφία οι οποίες διορθώθηκαν και προσαρμόστηκαν κατά τη φάση ρύθμισης του μοντέλου.

4. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

4.1. Αποτελέσματα νερού και αζώτου

Η προσομοίωση της δυναμικής του νερού και του αζώτου πραγματοποιήθηκε και για τις τρεις ομάδες πεδοσυναρτήσεων εκτίμησης των παραμέτρων των εξισώσεων του van Genuchten. Στο Σχήμα 1 παρουσιάζεται η διακύμανση της εδαφικής υγρασίας στα βάθη των 15 και 55 cm, στο χρονικό διάστημα από 01/04 έως 30/09/2004, με τις μετρημένες και με τις υπολογισμένες, από το μοντέλο WANISIM τιμές.

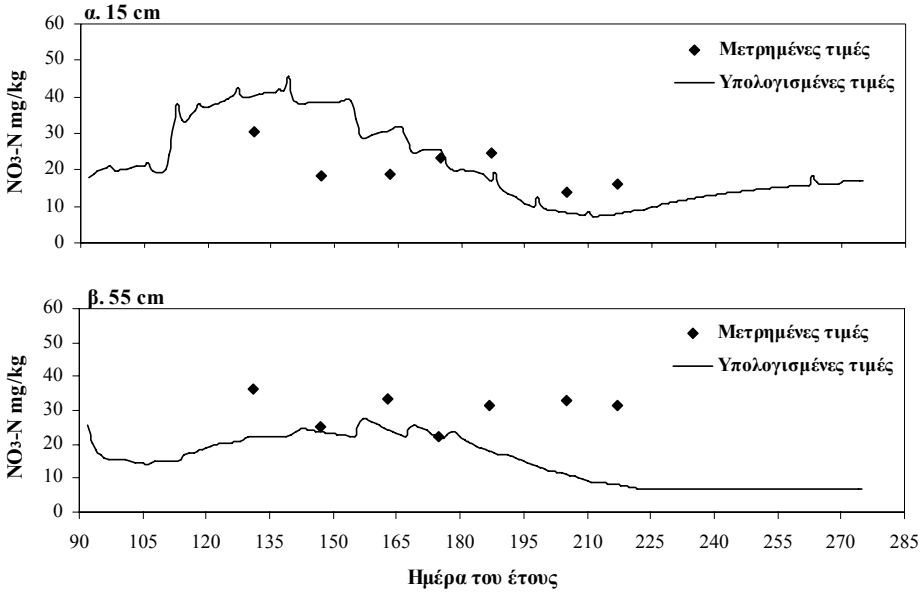


Σχήμα 1. Σύγκριση μετρημένων και υπολογισμένων τιμών εδαφικής υγρασίας

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 1, οι υπολογισμένες τιμές με τις χαρακτηριστικές καμπύλες, οι παράμετροι των οποίων προέκυψαν από τρεις ομάδες πεδοσυναρτήσεων, ακολουθούν τις διακυμάνσεις στο χρόνο της μετρημένης εδαφικής υγρασίας. Οι διαφορές ανάμεσα στα αποτελέσματα του μοντέλου από τις τρεις χαρακτηριστικές καμπύλες είναι μικρές. Τα παραπάνω επιβεβαιώνονται και από τα στατιστικά κριτήρια [1], [5] που δίνονται στον Πίνακα 3.

Η κίνηση του νερού επηρεάζει άμεσα τη μεταφορά και τους μετασχηματισμούς του αζώτου του εδάφους. Καθώς τα αποτελέσματα της προσομοίωσης της υγρασίας δεν διαφέρουν ανάμεσα στις διαφορετικές περιπτώσεις πεδοσυναρτήσεων όμοια δεν διαφέρουν και αυτά του αζώτου. Για την προσομοίωση του αζώτου χρησιμοποιήθηκαν οι πεδοσυναρτήσεις των Vereecken et al. [11] των παραμέτρων της χαρακτηριστικής καμπύλης καθώς από τα στατιστικά κριτήρια προκύπτει ότι υπερτερούν σε σχέση με τις πεδοσυναρτήσεις των Saxton et al. [12] και Wösten et al. [14], στην προσομοίωση της υγρασίας του εδάφους.

Στο Σχήμα 2 παρουσιάζονται οι μετρημένες και υπολογισμένες τιμές συγκέντρωσης του νιτρικού αζώτου στα βάθη των 15 και 55 cm, στο χρονικό διάστημα από 01/04 έως 30/09/2004.



Σχήμα 2. Μετρημένες και υπολογισμένες τιμές νιτρικού αζώτου σε mg/kg.

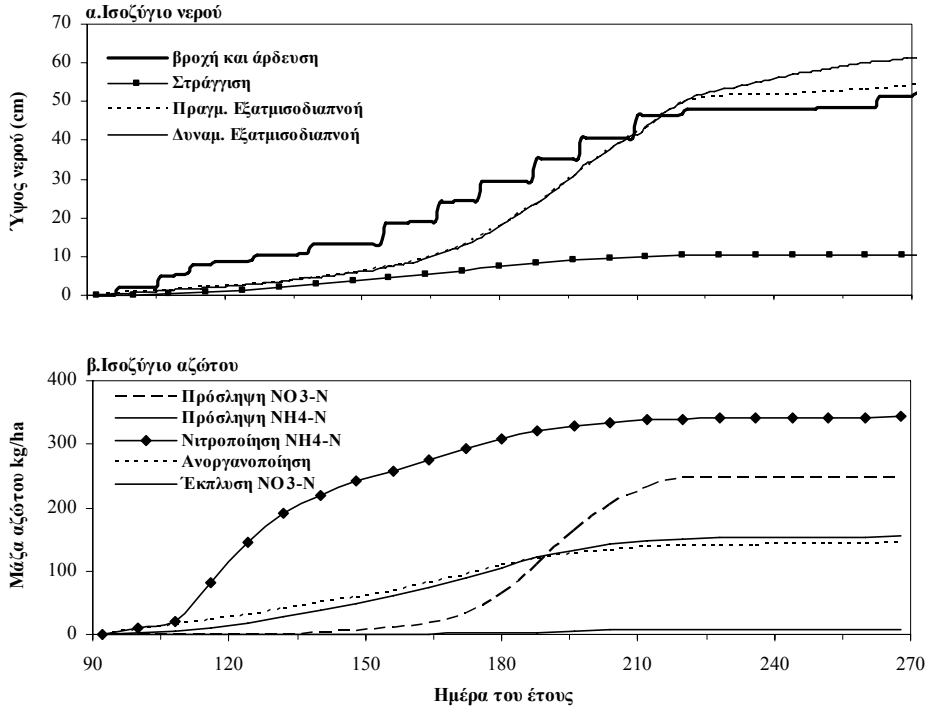
Πίνακας 3. Τιμές στατιστικών κριτηρίων (μέσο σφάλμα, E, σφάλμα τετραγώνου αποκλίσεων, RMSE, συντελεστής ελλείμματος μάζας, CRM, και αποδοτικότητα του μοντέλου, EF) για την προσομοίωση της υγρασίας και του αζώτου.

Βάθος εδάφους (cm)	Στατιστικό κριτήριο προσομοίωσης υγρασίας			
	E (cm^3 cm^{-3})	RMSE (%)	CRM	EF
	Vereecken et al.			
10-20	-0,049	27,714	0,180	-0,131
50-60	-0,012	17,236	0,066	0,776
	Wösten et al.			
10-20	-0,052	31,237	0,194	-0,437
50-60	0,008	18,083	-0,042	0,754
	Saxton et al.			
10-20	-0,070	32,450	0,260	-0,550
50-60	0,000	15,664	0,002	0,815
Βάθος εδάφους (cm)	Στατιστικό κριτήριο προσομοίωσης νιτρικού αζώτου			
	E (cm^3/cm^3)	RMSE (%)	CRM	EF
	Vereecken et al.			
10-20	3,315	52,322	-0,939	-3,196
50-60	-11,840	47,716	-0,013	-8,946

4.2. Ισοζύγιο νερού και αζώτου

Η αθροιστική εξατμισοδιαπνοή που υπολογίστηκε από το μοντέλο είναι ίση με 50,86 cm, με την πραγματική εξάτμιση και διαπνοή να ανέρχονται σε 10,27 cm και 40,59 cm νερού αντίστοιχα (Σχήμα 3). Η αθροιστική βαθιά διήθηση υπολογίστηκε ίση με 10,2 cm νερού. Το ισοζύγιο του νερού για όλη την περίοδο προσομοίωσης (Απρίλιος-Αύγουστος) προέκυψε ελλειμματικό κατά 13,17 cm νερού.

Η αθροιστική πρόσληψη NH_4-N και NO_3-N υπολογίστηκαν ίσες με 8,8 kg/ha και 248,3 kg/ha, αντίστοιχα (Σχήμα 3). Το ισοζύγιο του αζώτου προέκυψε ελλειμματικό κατά 61,28 kg/ha. Η αθροιστική έκπλυση NH_4-N και NO_3-N προέκυψαν ίσες με 5,4 kg/ha και 151 kg/ha, αντίστοιχα. Η αθροιστική νιτροποίηση NH_4-N υπολογίστηκε 340 kg/ha, η ανοργανοποίηση της οργανικής ουσίας του εδάφους προέκυψε ίση με 139 kg/ha και η απονιτροποίηση του NO_3-N 7,12 kg/ha.



Σχήμα 3. Ισοζύγιο νερού και αζώτου στο έδαφος

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τα αποτελέσματα της προσομοίωσης με το μοντέλο WANISIM και τη σύγκριση με τις μετρημένες τιμές υγρασίας και νιτρικού αζώτου, προκύπτει ότι οι πεδοσυναρτήσεις είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν με επιτυχία για την εκτίμηση των παραμέτρων της χαρακτηριστικής καμπύλης. Έτσι αποφεύγεται το σύνολο των εργασιών στον αγρό και στο εργαστήριο για τον προσδιορισμό των παραμέτρων της χαρακτηριστικής καμπύλης που απαιτούν χρόνο και ειδικό εξοπλισμό. Η διερεύνηση πεδοσυναρτήσεων σε ευρεία κλίμακα, η προσαρμογή τους σε συγκεκριμένους τύπους εδαφών, κλιμάτων και περιοχών και η δημιουργία βάσεων εξισώσεων στο μέλλον, θα διευκολύνουν τη χρήση μοντέλων προσομοίωσης σε επίπεδο παραγωγικών μονάδων για την ορθότερη διαχείριση του νερού και του αζώτου.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Antonopoulos, V.Z., 2000. Modeling 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
2. Kaur, R., Kumar, S., Gurung, H.P., 2002. A pedotransfer function for estimating soil bulk density from basic soil data and its comparison with existing PTFs. *Australian Journal of Soil Research, CSIRO Publishing*, 40: 847-857.
3. Nemes, A., Schaap, M.G. and Wösten, J.H.M., 2003. Functional evaluation of pedotransfer functions derived from different scales of data collection. *Soil Science Society of America Journal*, 67: 1093-1102.
4. Αντωνόπουλος, Β., 1998. WANISIM, Μονοδιάστατο μοντέλο προσομοίωσης της δυναμικής του νερού και του αζώτου στο έδαφος. Μονογραφία, Τμήμα Γεωπονίας, Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη, σελ.82.
5. Antonopoulos, V. and Wyseure, G., 1998. Modeling of water and nitrogen dynamics on an undisturbed soil and a restored soil after open-cast mining. *Agricultural Water Management*, 37: 21-40.
6. Manrique, L.A. and Jones, C.A., 1991. Bulk density of soils in relation to soil physical and chemical properties. *Soil Science Society of America Journal*, 55: 476-481.
7. Alexander E.B., 1980. Bulk density of California soils in relation to other soil properties. *Soil Science Society of America Journal*, 44: 689-692.
8. Rawls, W.J., 1983. Estimating soil bulk density from particle size analysis and organic matter content. *Soil Science*, 135: 123-125.
9. van Genuchten, M.T., 1980. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Science Society of America Journal*, 44: 892–898.
10. Gardner, W.R., 1958. Some steady-state solutions of the unsaturated moisture flow equation with application to evaporation from a water table. *Soil Science*, 85: 228-232.
11. Vereecken, H., Maes, J., Feyen, J. and Darius, P., 1989. Estimating the soil moisture retention characteristics from texture, bulk density and carbon content. *Soil Science*, 148: 389–403.
12. Saxton, K.E., Rawls, W.J., Romberger, J.S. and Papendick, R.I., 1986. Estimating generalized soil water characteristics from texture. *Soil Science Society of America Journal*, 50: 1031–1036.
13. Schaap, M.G., Leij, F.J. and van Genuchten. M.T., 2001. ROSETTA: A computer program for estimating soil hydraulic parameters with hierarchical pedotransfer functions. *Journal of Hydrology*, 251(3–4): 163–176.
14. Wösten, J.H.M., Lilly, A., Nemes, A. and Le Bas, C., 1999. Development and use of a database of hydraulic properties of European soils. *Geoderma* 90:169–185.
15. Dexter, A.R., Czyz E.A. and Gate O.P., 2004. Soil structure and the saturated hydraulic conductivity of subsoils. *Soil and Tillage Research*, 79: 185-189.

(173)

ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΟΥ ΙΣΟΖΥΓΙΟΥ ΝΕΡΟΥ ΚΑΙ ΑΖΩΤΟΥ ΣΕ ΟΡΥΖΩΝΑ ΜΕ ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ GLEAMS

Β.Ζ. Αντωνόπουλος[1a], Β.Γ. Ασχονίτης[1b], M.H. Rahil[1], Ε.Η. Λεκάκης[1]
[1] Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Γεωπονική Σχολή, Τομέας Εγγείων Βελτιώσεων, Γεωργ. Μηχ. & Εδαφ., Τ.Κ. 54124, Θεσ/νίκη, avasanton@agro.auth.gr, bvaschoni@agro.auth.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εργασία γίνεται ανάλυση του ισοζυγίου του νερού και του αζώτου, σε πειραματικό ορυζώνα της περιοχής Σίνδου Θεσσαλονίκης. Η διερεύνηση επικεντρώνεται στην ανάλυση και επεξεργασία των υδρολογικών, υδραυλικών, εδαφοχημικών και φυτικών παραμέτρων του ορυζώνα με το μοντέλο GLEAMS V3.0. Για την εφαρμογή του μοντέλου κρίθηκε απαραίτητη η τροποποίησή του, έτσι ώστε να λαμβάνει υπόψη την επίδραση της κατάκλυσης στο ισοζύγιο νερού και αζώτου. Η περίοδος προσομοίωσης είναι ένα έτος (2005) και από τα αποτελέσματα που εξήχθησαν, προκύπτει ότι το μοντέλο περιγράφει ικανοποιητικά το ισοζύγιο νερού και αζώτου στους ορυζώνες.

SIMULATION OF WATER AND NITROGEN BALANCE IN RICE FIELD WITH THE GLEAMS MODEL

V.Z. Antonopoulos[1a], V.G. Aschonitis[1b], M.H. Rahil[1], E.H. Lekakis[1]
[1] Aristotle University of Thessaloniki, Sch. of Agriculture, Department of Hydraulics, Soil Sc. and Agriculture Engineering, 54124, Thessaloniki, [a]vasanton@agro.auth.gr, bvaschoni@agro.auth.gr

ABSTRACT

This research work investigates the water and nitrogen balance of an experimental rice-field in Sindos-Thessaloniki region. The investigation focuses on the analysis and elaboration of hydrologic, hydraulic, chemical and plant parameters of the rice-field with the GLEAMS V3.0 model. For the implementation of the model, modifications were necessary so as to describe ponding conditions and their effects on the water and nitrogen balance. The simulation period is one year (2005) and it is inferred from the simulation results that the model can describe satisfactorily the rice-field's water and nitrogen balance.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το ρύζι είναι η καλλιέργεια με την μεγαλύτερη κατανάλωση νερού, λόγω της μεθόδου άρδευσης (κατάκλυση). Στην πεδιάδα Θεσσαλονίκης φιλοξενούνται οι μεγαλύτερες εκτάσεις ορυζώνων πανελληνίως, οι οποίες ανέρχονται στα 120-195 km^2 [1]. Οι εκτάσεις αυτές βρίσκονται εντός των δέλτα των ποταμών Αξιού-Γαλλικού, τα οποία παρόλο που αποτελούν προστατευόμενες περιοχές, δέχονται μέρος των γεωργικών λυμάτων της περιοχής.

Η υιοθέτηση πρακτικών βέλτιστης διαχείρισης των υδατικών πόρων στους ορυζώνες είναι αναγκαία τόσο για την εξοικονόμηση νερού όσο και για την προστασία τους από τη ρύπανση λόγω των αζωτούχων λιπασμάτων. Για να επιτευχθεί ο στόχος αυτός, είναι αναγκαίο να εκτιμηθούν οι συνιστώσες του ισοζυγίου του νερού και του αζώτου στους ορυζώνες με τη βοήθεια διαφόρων μαθηματικών μοντέλων. Οι σημαντικότερες εφαρμογές μαθηματικών μοντέλων για την καλλιέργεια του ρυζιού έγιναν με τα μοντέλα PADDIMOD [2], GLEAMS-PADDY [3], SAWAH [4], κ.α., οι οποίες όμως αναφέρονται σε χώρες εκτός της ζώνης των μεσογειακών χωρών.

Σκοπός της εργασίας είναι η εκτίμηση του ισοζυγίου του νερού και του αζώτου σε πειραματικό ορυζώνα για την καλλιεργητική περίοδο (2005) με το μοντέλο GLEAMS V3.0 [5] μετά από τροποποιήσεις του. Για τη ρύθμισή του μετρήθηκαν όλες οι εισροές και εκροές του νερού και αζώτου, οι φυσικο-χημικές και οι υδραυλικές παράμετροι του εδάφους καθώς και τα χαρακτηριστικά ανάπτυξης της καλλιέργειας του ρυζιού.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1. Περιγραφή του μοντέλου GLEAMS

Το μοντέλο GLEAMS V3.0 [5] είναι ημιεμπειρικό και μονοδιάστατο κατά την κατακόρυφη διεύθυνση. Στις δυνατότητες του μοντέλου περιλαμβάνονται η περιγραφή της κίνησης του νερού στο εδαφικό προφίλ, η εκτίμηση της επιφανειακής απορροής, της διάβρωσης, της μεταφοράς μάζας των θρεπτικών στοιχείων (αζώτου και φωσφόρου) καθώς και των φυτοφαρμάκων στο έδαφος. Κύριος στόχος του μοντέλου είναι η εκτίμηση των συνολικών εκροών των αγροχημικών ουσιών από τις γεωργικές δραστηριότητες. Για την εφαρμογή του μοντέλου σε συνθήκες καλλιέργειας ρυζιού κρίθηκε απαραίτητη η τροποποίησή του, έτσι ώστε να λαμβάνει υπόψη τις συνθήκες κατάκλυσης και την επιρροή τους στο ισοζύγιο νερού και αζώτου στους ορυζώνες.

2.2.1. Υδρολογικό υπομοντέλο.

Ο βασικότερος παράγοντας για τον υπολογισμό του υδατικού ισοζυγίου στους ορυζώνες είναι το ύψος του λιμνάζοντος νερού WD στην επιφάνεια του εδάφους (Σχήμα 1).

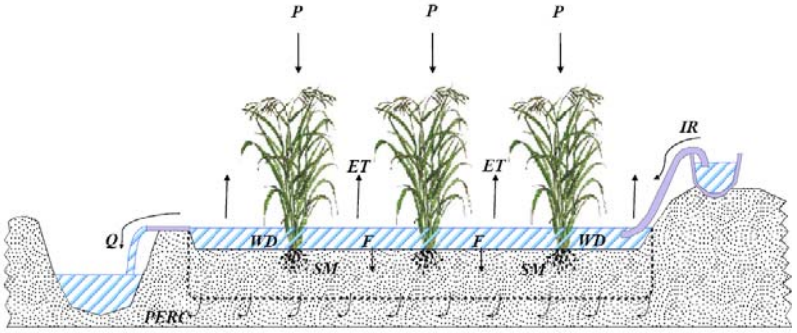
Για τον υπολογισμό του, το μοντέλο τροποποιήθηκε σύμφωνα με την παραδοχή ότι απορροή συμβαίνει μόνο όταν το νερό ξεπερνά το ύψος του αναχώματος στα κατάντη του ορυζώνα [3]. Κάτω από αυτές τις συνθήκες, η εκτίμηση της επιφανειακής απορροής και του συνδυασμένου υδατικού ισοζυγίου τόσο στο έδαφος όσο και στο νερό κατάκλυσης δίνεται αντίστοιχα από τις εξισώσεις

$$\text{όταν } WD_i > HD \text{ τότε } Q_i = WD_i - HD \text{ και } WD_i = HD \qquad (1)$$
$$\text{όταν } WD_i \le HD \text{ τότε } WD_i = WD_i \text{ και } Q_i = 0$$

και

$$\begin{Bmatrix} WD_i \\ + \\ SM_i \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} WD_{i-1} + P_i + IR_i - F_i - Q \\ + \\ SM_{i-1} + F_i - PERC_i \end{Bmatrix} - ET \qquad (2)$$

όπου WD: το ύψος λιμνάζοντος νερού στην επιφάνεια του εδάφους (cm), Q: η επιφανειακή εκροή (cm day^{-1}), P: η βροχόπτωση (cm day^{-1}), IR: η άρδευση (cm day^{-1}), ET: η εξατμισοδιαπνοή (cm day^{-1}), F: η διήθηση (cm day^{-1}) και PERC: η στράγγιση ή βαθειά διήθηση (cm day^{-1}).



Σχήμα 1. Αναπαράσταση του ισοζυγίου νερού σε τυπικό ορυζώνα

Η εξίσωση διήθησης που χρησιμοποιείται, είναι μια τροποποίηση της εξίσωσης των Green and Ampt [6], η οποία δίνεται από τη σχέση:

$$\frac{dF}{dt} = K_s \left(\frac{H_c \phi \left(ST_o - ST_i \right) + F}{F} \right) \qquad (3)$$

όπου F: η αθροιστική διηθητικότητα (cm), K_s: η αποτελεσματική κορεσμένη υδραυλική αγωγιμότητα (cm/day), t: ο χρόνος (day), H_c: διαφορά υδραυλικού φορτίου (cm), ST_i : ο αρχικός βαθμός κορεσμού πριν τη βροχόπτωση ή άρδευση, ST_o: ο τελικός βαθμός κορεσμού ο οποίος είναι ίσος με την μονάδα (κορεσμός 100%) τη χρονική στιγμή κατά την οποία αρχίζει να λιμνάζει το νερό στην επιφάνεια και φ: το πορώδες (cm^3/cm^3). Η διήθηση του νερού προς τις βαθύτερες στρώσεις γίνεται με τη μέθοδο διόδευσης της εδαφικής υγρασίας (storage routing technique) [6],σύμφωνα με την οποία λαμβάνει χώρα καθοδική κίνηση νερού προς τα βαθύτερα στρώματα μετά την πλήρωση της υδατοϊκανότητας των υπερκείμενων στρώσεων από τη βροχή ή την άρδευση. Το μοντέλο λαμβάνει υπόψη την ύπαρξη υπόγειας στάθμης και την στράγγιση του εδάφους όταν υπάρχει στραγγιστική τάφρος. Η παροχή στράγγισης ανά μονάδα πλάτους εξαρτάται από την απόσταση της επιφάνειας του εδάφους από τη στάθμη του νερού στη στραγγιστική τάφρο. Η ρύθμισή της έγινε ταυτόχρονα με τις μετρημένες τιμές εδαφικής υγρασίας και επιφανειακής απορροής γιατί η παροχή στράγγισης μετά τον κορεσμό του εδάφους επηρεάζει τη διήθηση νερού από την επιφάνεια, τη διακύμανση του ύψους του νερού κατάκλυσης και επομένως την επιφανειακή απορροή.

Ο υπολογισμός της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής από το μοντέλο γίνεται με την μέθοδο του Ritchie ως άθροισμα της εξάτμισης από το έδαφος και της διαπνοής από το φυτό, οι οποίες είναι συναρτήσεις του LAI και της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής [5]. Με αυτή τη μέθοδο υπολογισμού υποεκτιμάται η εξατμισοδιαπνοή στους ορυζώνες γιατί σε συνθήκες κατάκλυσης η εξάτμιση γίνεται από την ελεύθερη επιφάνεια του νερού και όχι του εδάφους [7]. Για το λόγο αυτό στο μοντέλο έγινε ρύθμιση της εξάτμισης εδάφους με

ένα συντελεστή διόρθωσης, ο οποίος εκφράζει την εξάτμιση από την ελεύθερη επιφάνεια νερού. Η ρύθμιση της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής έγινε με τις υπολογισμένες τιμές της μεθόδου Penman-Monteith κατά FAO [8] με χρήση φυτικού συντελεστή του ρυζιού προσαρμοσμένο στις συνθήκες της περιοχής [9].

2.2.2. Υπομοντέλο αζώτου.

Ο κύκλος του αζώτου περιλαμβάνει την ανοργανοποίηση, την ακινητοποίηση, την αεριοποίηση της αμμωνίας, την απονιτροποίηση, την πρόσληψη από τις ρίζες, τις απώλειες λόγω επιφανειακής απορροής, διήθησης κάτω από το ριζόστρωμα, προσρόφησης στα φερτά υλικά και μεταφοράς τους με την διάβρωση. Επιπλέον λαμβάνεται υπόψη η εισροή από την βροχή, την άρδευση και την λίπανση. Το ισοζύγιο αζώτου στο νερό κατάκλυσης υπολογίζεται σύμφωνα με τις παραδοχές των Chung et al.,[3] στο οποίο έγινε και εισαγωγή του όρου πρόσληψης αζώτου από τα *Algae* [10]. Για το ισοζύγιο του αζώτου, το μοντέλο διαχωρίζει το ανόργανο άζωτο στην νιτρική και αμμωνιακή μορφή του, των οποίων το ημερήσιο ισοζύγιο στο σύστημα έδαφος-νερό κατάκλυσης δίνεται, αντίστοιχα από τις σχέσεις:

$$NO_{3_d} = NO_{3_{d-1}} + \left(NIT + FENO + IRNO + PNO\right)_d - \left(DNI + QNO + PERCNO + UPNO + UPALNO\right)_d \quad (4)$$

και

$$NH_{4_d} = NH_{4_{d-1}} + (FENH + MIN)_d - (NIT + QNH + PERCNH + SEDNH + UPNH + UPALNH + VOLN)_d \quad (5)$$

όπου NO_3 και NH_4: είναι το νιτρικό και αμμωνιακό άζωτο, αντίστοιχα (kg ha^{-1}), NIT: η νιτροποίηση (kg ha^{-1}), MIN: η ανοργανοποίηση (kg ha^{-1}), VOLN: η αεριοποίηση της αμμωνίας (kg ha^{-1}) FENO και FENH: η εισροή νιτρικού και αμμωνιακού αζώτου, αντίστοιχα με την λίπανση (kg ha^{-1}), PNO και IRNO : οι εισροες νιτρικού αζώτου με τη βροχή και την άρδευση αντίστοιχα (kg ha^{-1}), DNI: η απονιτροποίηση (kg ha^{-1}), QNO και PERCNO: οι εκροές νιτρικού αζώτου με την επιφανειακή απορροή και την βαθειά διήθηση, αντίστοιχα (kg ha^{-1}), QNH και PERCNH: οι εκροές αμμωνιακού αζώτου με την επιφανειακή απορροή και την βαθειά διήθηση, αντίστοιχα (kg ha^{-1}), UPNO και UPNH: η πρόσληψη νιτρικού και αμμωνιακού αζώτου, αντίστοιχα από τα φυτά (kg ha^{-1}), UPALNO και UPALNH: η πρόσληψη νιτρικού και αμμωνιακού αζώτου, αντίστοιχα από τα *Algae* (kg ha^{-1}), SEDNH: η εκροή του προσροφημένου αμμωνιακού αζώτου στα φερτά υλικά με τη διάβρωση (kg ha^{-1}) και d: δείκτης χρονικού βήματος (day).

2.2.3. Υπομοντέλο διάβρωσης.

Παρόλο που το μοντέλο GLEAMS είναι μονοδιάστατο, στο υπομοντέλο της διάβρωσης δίνεται η δυνατότητα να εισαχθούν κάποια βασικά χαρακτηριστικά του αγρού, όπως η κλίση του εδάφους κατά μήκος της επιφανειακής ροής και η επιφανειακή διαμόρφωση του αγρού. Στο μοντέλο, το φαινόμενο της διάβρωσης περιγράφεται από την απόσπαση, μεταφορά και απόθεση εδαφικών υλικών με χρήση της παγκόσμιας εξίσωσης απώλειας εδάφους (Universal Soil Loss Equation-USLE) [11]. Επειδή για την καλλιέργεια του ρυζιού οι αγροί διαμορφώνονται σε λεκάνες με πυθμένα σχεδόν μηδενικής κλίσης και περιφερειακά αναχώματα για την επίτευξη της κατάκλυσης, στο μοντέλο γίνεται η παραδοχή ότι η διάβρωση του εδάφους είναι αμελητέα. Η συγκεκριμένη παραδοχή ενισχύεται και από το γεγονός ότι η ταχύτητα του νερού στην επιφάνεια του εδάφους και η επίδραση της έντασης βροχόπτωσης στην διάβρωση, οι οποίες είναι παράμετροι της USLE, είναι σχεδόν μηδενικές. Η πρώτη επηρεάζεται από

τη σχεδόν μηδενική κλίση του εδάφους και την αντίσταση της ροής από τα φυτά, ενώ η δεύτερη από το γεγονός ότι το έδαφος προστατεύεται από το επιφανειακό στρώμα νερού και από την φυτοκόμη. Έτσι, απώλειες αζώτου από το έδαφος με το επιφανειακό νερό έχουμε μόνο λόγω διάχυσης και όχι λόγω μεταφοράς εδαφικών τεμαχιδίων.

2.2. Περιγραφή πειραματικού αγρού και μετρήσεις πεδίου

Ο πειραματικός αγρός βρίσκεται στην ευρύτερη περιοχή Σίνδου μεταξύ Αξιού και Γαλλικού ποταμού, νοτιοανατολικά της πεδιάδας Θεσσαλονίκης και αρδεύεται από τον ποταμό Αξιό (ανατολική προσαγωγός διώρυγα-Τ.Ο.Ε.Β. Χαλάστρας-Καλοχωρίου). Το σχήμα του αγρού είναι ορθογωνικό, συνολικής έκτασης 5.51 στρεμμάτων, με διαστάσεις 190 m και 29 m και σχεδόν μηδενική κλίση. Στο συγκεκριμένο αγρό σχεδιάστηκαν και εκτελέστηκαν πειραματικές μετρήσεις για όλες τις εισροές, εκροές του νερού και αζώτου, τις φυσικές, υδραυλικές και χημικές παραμέτρους του εδάφους καθώς και τα χαρακτηριστικά ανάπτυξης της καλλιέργειας του ρυζιού, για την καλλιεργητική περίοδο 2005.

Η έναρξη των αρδεύσεων με κατάκλυση του αγρού έγινε στις 12 Μαΐου, μέσω του αρδευτικού δικτύου ανοιχτών αγωγών. Από την έναρξη της κατάκλυσης και μέχρι τις 20 Σεπτεμβρίου, παρατηρήθηκε συνεχής εισροή νερού για τη διατήρηση της στάθμης στην επιφάνεια του εδάφους στα 5-10 cm, με μικρές ενδιάμεσες περιόδους διακοπής της άρδευσης. Τις τελευταίες 24 ημέρες πριν τη συγκομιδή, διεκόπει εντελώς η άρδευση για να στραγγίσει ο αγρός. Η εισροή νερού από τα καναλέτα ήταν περίπου 2.0-3.0 L/sec, ενώ η εκροή από την έξοδο του χωραφιού ήταν περίπου 0.75-1.1 L/sec.

Για την μέτρηση των φυσικο-χημικών και υδραυλικών χαρακτηριστικών πάρθηκαν δείγματα ανά 30 cm μέχρι τα 120 cm. Η μηχανική σύσταση του εδάφους, για τις διάφορες εδαφικές στρώσεις του προφίλ των 120 cm είναι από silty-clay έως clay. Η υδραυλική αγωγιμότητα της κάθε εδαφικής στρώσης μετρήθηκε σε αδιατάρακτα δείγματα με περατόμετρο μεταβλητού φορτίου, η εδαφική υγρασία με την σταθμική μέθοδο, ενώ η υδατοϊκανότητα και το σημείο μόνιμης μάρανσης εκτιμήθηκαν από τις χαρακτηριστικές καμπύλες μετά από μετρήσεις σε δίσκους πίεσης. Αξίζει να σημειωθεί ότι μετά την κατάκλυση επήλθε κορεσμός σε όλες τις εδαφικές στρώσεις, ενώ η εδαφική υγρασία στην επιφανειακή στρώση έφτασε μέχρι και 70% κ.ο., με εμφανή την καταστροφή της εδαφικής δομής και τη δημιουργία λάσπης.

Η σπορά του πειραματικού αγρού έγινε στις 15 Μαΐου, ενώ η συγκομιδή στις 14 Οκτωβρίου 2005. Μετά την εβδομηκοστή ημέρα από τη σπορά παρατηρήθηκε το μέγιστο ύψος των φυτών και το μέγιστο βάθος του ριζικού τους συστήματος με τιμές 70-80 και 25-30 cm, αντίστοιχα. Μετρήσεις του δείκτη φυλλικής επιφάνειας, της ολικής φυτομάζας και της συγκέντρωσης ολικού αζώτου λαμβάνονταν ανά δυο εβδομάδες, σε όλη την καλλιεργητική περίοδο. Η καλλιέργεια λιπάνθηκε βασικά και επιφανειακά στις 10 Μαΐου και στις 2 Ιουλίου αντίστοιχα, με συνολική εφαρμογή 15 kg N/στρέμμα.

Για το άζωτο στο έδαφος έγιναν δειγματοληψίες σε τέσσερα βάθη ανά 30 cm κάθε 10-15 ημέρες, στα οποία μετρήθηκαν οι συγκεντρώσεις του νιτρικού και αμμωνιακού αζώτου. Επιπλέον μετρήθηκαν οι συγκεντρώσεις τους στο νερό άρδευσης και στο νερό της επιφανειακής απορροής.

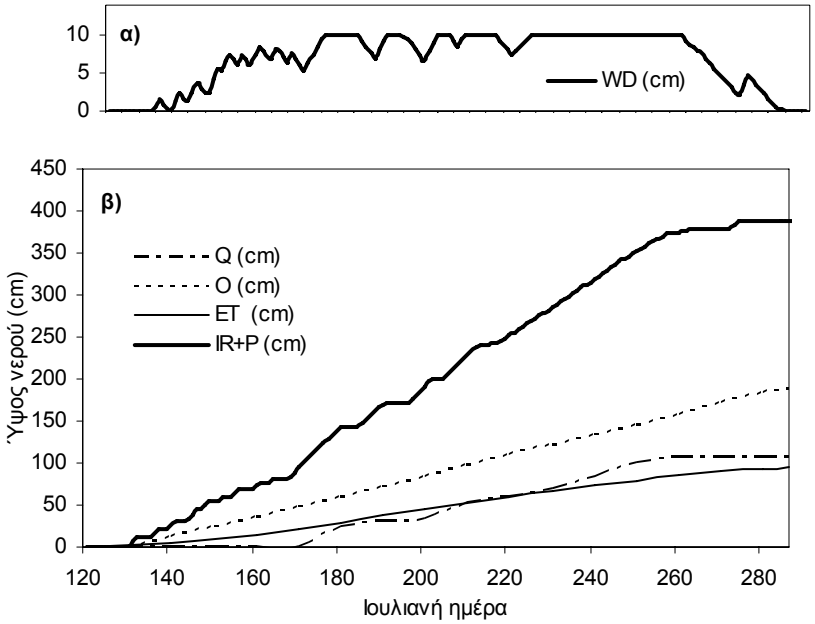
Η εκτίμηση του εισρεόμενου νερού από τη βροχόπτωση και ο υπολογισμός της εξατμισοδιαπνοής από το μοντέλο έγινε με ημερήσια δεδομένα από τοπικό μετεωρολογικό σταθμό.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

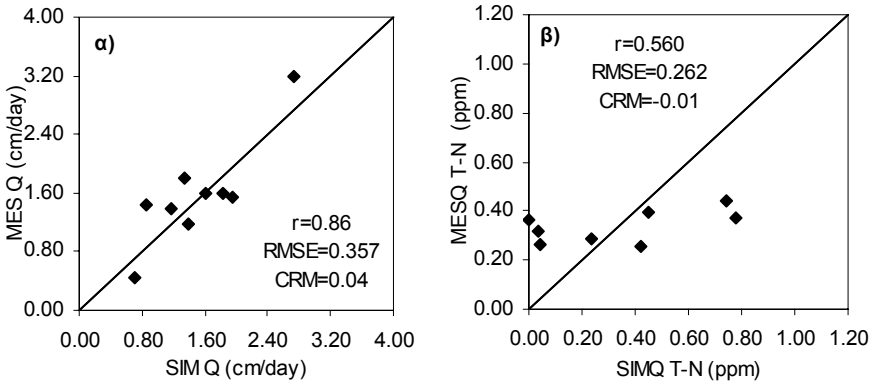
Το τροποποιημένο μοντέλο GLEAMS V.3.0 εφαρμόστηκε για την εκτίμηση του ισοζυγίου νερού και του ολικού ανόργανου αζώτου T-N (νιτρικό+αμμωνιακό άζωτο) σε πειραματικό ορυζώνα για την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2005.

Τα αποτελέσματα του μοντέλου για το ισοζύγιο νερού παρουσιάζονται στα Σχήματα 2α και 2β καθώς και στον Πίνακα 1α, μετά από ρύθμιση του μοντέλου με τις μετρήσεις επιφανειακής απορροής (Σχήμα 3α). Για το υδατικό ισοζύγιο προκύπτει ότι η επιφανειακή απορροή, η εξατμισοδιαπνοή και η βαθειά διήθηση αποτελούν το 28.2, 24.6 και 47.2%, αντίστοιχα, των ολικών απωλειών νερού, από τις οποίες τόσο η επιφανειακή απορροή όσο και η βαθειά διήθηση οδηγούνται στις στραγγιστικές τάφρους.

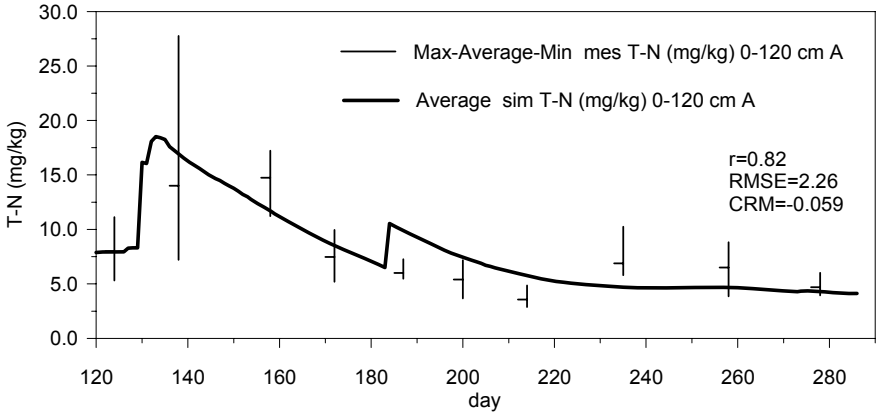
Τα αποτελέσματα του μοντέλου για το ισοζύγιο αζώτου δίνονται στον Πίνακα 1β, ενώ στα Σχήματα 3β και 4 δίνεται η σύγκριση μετρημένων και υπολογισμένων τιμών της συγκέντρωσης ολικού ανόργανου αζώτου στο νερό εκροής (ppm) και στο έδαφος (mg/kg) για το προφίλ εδάφους των 0-120 cm, αντίστοιχα. Για το ισοζύγιο αζώτου προκύπτει ότι οι απώλειες αζώτου λόγω πρόσληψης από την καλλιέργεια και τα *Algae* αποτελούν το 41.98% και 7.18%, αντίστοιχα των ολικών απωλειών, οι οποίες όμως είναι με την μορφή φυτομάζας. Το άζωτο που χάνεται με την επιφανειακή απορροή, τη βαθειά διήθηση και την απονιτροποίηση αποτελεί το 1.54, 23.58 και 25.7% των ολικών απωλειών, αντίστοιχα. Από τα παραπάνω προκύπτει ότι η βαθειά διήθηση και η απονιτροποίηση είναι οι κύριοι παράγοντες απωλειών αζώτου. Σχετικά με τη συνεισφορά των παραπάνω διαδικασιών στο φαινόμενο της νιτρορύπανσης των υδάτων που οδηγούνται στα στραγγιστικά δίκτυα των ορυζώνων, η βαθειά διήθηση έχει τον κύριο ρόλο.



Σχήμα 2. α) Εκτίμηση του ύψους λιμνάζοντος νερού (WD), β) Αθροιστικές τιμές της εισροής νερού από την βροχή και την άρδευση (IR+P), την επιφανειακή απορροή (Q), τη διήθηση (PERC) και την πραγματική εξατμισοδιαπνοή (ET).



Σχήμα 3. α) Μετρημένες (MESQ) και υπολογισμένες (SIMQ) παροχές επιφανειακής απορροής (cm/day), β) Μετρημένες (MESQ T-N) και υπολογισμένες (SIMQ T-N) τιμές ολικού ανόργανου αζώτου (ppm) στο νερό επιφανειακής απορροής.



Σχήμα 4. Ελάχιστες, μέσες και μέγιστες μετρημένες (mes) και υπολογισμένες τιμές (sim) της συγκέντρωσης ολικού ανόργανου αζώτου (mg/kg) σε όλο το προφίλ των 0-120 cm για την καλλιεργητική περίοδο 2005.

Πίνακας 1.α) Ισοζύγιο νερού και β) αζώτου στον πειραματικό ορυζώνα του προφίλ εδάφους 120 cm στο τέλος της καλλιεργητικής περιόδου (167 ημέρες).

α) Εισροές-εκροές νερού					**Ισοζύγιο**	
IR	P	Q	PERC	ET		
364.46	24.86	-106.89	-187.4	-95.4	-0.4	(cm)
20081.75	1369.79	-5889.64	-10327.4	-5256.54	-22.03	(m^3)

IR: άρδευση, P: βροχόπτωση, Q: επιφανειακή απορροή, PERC: βαθειά διήθηση, ET: εξατμισοδιαπνοή

β) Εισροές-εκροές ανόργανου αζώτου T-N (kg/ha)								
IR+P N	FEN	MIN	UPALN	UPN	PERCN	QN	DNI	**Ισοζύγιο**
48.02	150.00	42.78	-22.09	-129.06	-72.50	-4.76	-79.00	-66.61

Εισροές-εκροές αζώτου με IR+P N: άρδευση + βροχόπτωση, FEN: λίπανση, MIN: ανοργανοποίηση, UPALN: πρόσληψη από τα *Algae*, UPN: πρόσληψη από την καλλιέργεια, PERCN: βαθειά διήθηση, QN: επιφανειακή απορροή, DNI: απονιτροποίηση.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της παραπάνω εφαρμογής και σε συνδυασμό με τη χρήση στατιστικών κριτηρίων, τα οποία δίνονται στα σχήματα μετρημένων και υπολογισμένων τιμών, προκύπτει ότι το μοντέλο περιγράφει ικανοποιητικά το ισοζύγιο νερού και αζώτου μέσα στους ορυζώνες. Το γεγονός αυτό, το καθιστά εύχρηστο εργαλείο για την βέλτιστη διαχείριση του αρδευτικού νερού και της αζωτούχου λίπανσης στους ορυζώνες, σκοπεύοντας στην παράλληλη διατήρηση των υψηλών αποδόσεων της καλλιέργειας και στη μείωση του φαινομένου της νιτρορύπανσης.

Ευχαριστίες
Οι συγγραφείς ευχαριστούν το ΥΠ.Ε.Π.Θ και την Ε.Ε. για την οικονομική ενίσχυση του ερευνητικού έργου «Διαχείριση νερού και αζώτου σε ορυζώνα για εξοικονόμηση νερού και προστασία υδάτινου περιβάλλοντος», το οποίο χρηματοδοτήθηκε από την Ειδική Υπηρεσία Διαχείρισης ΕΠΕΑΕΚ - ΠΥΘΑΓΟΡΑΣ ΙΙ.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. MED-Rice, 2003. *Guidance Document for Environmental Risk Assessments of Active Substances used on Rice in the EU for Annex I Inclusion*. Working Group on Med-Rice, EU Document Reference SANCO/1090/2000-rev.1, Brussels, June 2003, 11-42 pp.
2. Jeon, J.H., Yoon, C.G., Ham, J.H., Jung, K.W., 2005. Model development for surface drainage loading estimates from paddy rice fields. *Paddy Water Environ.* (3): 93–101.
3. Chung, S.O., Kim, H.S., Kim, J.S., 2003. Model development for nutrient loading from paddy rice fields. *Agricultural Water Manag.* (62): 1-17.
4. Singh K.B., Gajri P.R., Arora V.K., 2000. Modelling the effects of soil and water management practices on the water balance and performance of rice. *Agricultural Water Manag. (*49):77-95
5. Knisel, W.G. and Davis, M. F., 2000. *GLEAMS: Groundwater Loading Effects of Agricultural Management Systems*. Version 3.0 User's Manual, Publication No. SEWRL-WGK/FMD-050199, revised 081500.
6. Knisel, W.G., 1980. *CREAMS: A field-scale model for Chemicals, Runoff, and Erosion from Agricultural Management Systems.* USDA, Science and Education Administration, Conservation Research Report No. 26, 640 pp.
7. Αντωνόπουλος Β.Ζ., Ασχονίτης Β.Γ., Λίτσκας, Β.Δ., 2007. Προσομοίωση του ισοζυγίου νερού σε ορυζώνα με το μοντέλο GLEAMS. *6ο Εθνικό Συνέδριο ΕΕΔΥΠ "Ολοκληρωμένη διαχείριση υδατικών πόρων με βάση τη λεκάνη απορροής"*. 14-16 Ιουνίου, Χανιά, σελ 325-333.
8. Allen, R.G., Smith, M., Perrier, A., Pereira, L.S., 1994a,b. An update for the definition of reference evapotranspiration. *ICID Bull.* 43(2): 1-92.
9. Πανώρας Α., Παπαζαφειρίου Ε., Πουλτσίδου Θ., 2001. Υπολογισμός φυτικών συντελεστών για έξι μεθόδους εξατμισοδιαπνοής στο νότιο τμήμα της πεδιάδας Θεσσαλονίκης. *Αγροτική Έρευνα* 24(1): 37-45.
10. Anastacio, 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. *Ecological Modelling* (123): 29-40.
11. Wischmeier, W.H., and Smith, D.D., 1978. *Predicting rainfall erosion losses – a guide to conservation planning*. USDA, Agric. Handbook No. 537.

(175)

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΑΡΔΕΥΟΜΕΝΗΣ ΓΕΩΡΓΙΑΣ ΣΤΗΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΤΩΝ ΣΤΡΑΓΓΙΣΤΙΚΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ

Β. Αντωνόπουλος[1α], Β. Λίτσκας[2β], Β. Ασχονίτης[1β] και Σ. Τσιούρης[2α]
Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο, Γεωπονική Σχολή, 54124, Θεσσαλονίκη
[1]Τομέας Εγγείων Βελτιώσεων, Γεωργ. Μηχ. και Εδαφ., [α]vasanton@agro.auth.gr,
[β]vaschoni@agro.auth.gr
[2]Τομέας Φυτών Μεγ. Καλλιέργ. και Οικολογίας, [α]stsiouri@agro.auth.gr,
[β]vlitskas@agro.auth.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της εργασίας είναι η εκτίμηση των επιπτώσεων της άρδευσης στην ποιότητα του στραγγιστικού νερού μιας έκτασης (~1500 στρ.) καλλιεργούμενης κυρίως με ρύζι, στην περιοχή της Σίνδου – Χαλάστρας (νομός Θεσσαλονίκης). Σε δείγματα νερού από το στραγγιστικό και το αρδευτικό δίκτυο εξετάστηκαν οι παράμετροι: ηλεκτρική αγωγιμότητα, pH, νιτρικά, αμμωνιακά, ολικός φώσφορος, κάλιο, ασβέστιο, μαγνήσιο, νάτριο και αναλογία προσροφημένου νατρίου (SAR).

IMPACT OF IRRIGATED AGRICULTURE ON DRAINAGE WATER QUALITY

V. Antonopoulos [1a], V. Litskas[2b], V. Aschonitis[1b] and S. Tsiouris[2a]
Aristotle University, Sch. of Agriculture, 54124, Thessaloniki
[1]Department of Hydraulics, Soil Sci. and Agr. Engineering, [a]vasanton@agro.auth.gr,
[b]vaschoni@agro.auth.gr
[2]Department of Crop science and Ecology, [a]stsiouri@agro.auth.gr,
[b]vlitskas@agro.auth.gr

ABSTRACT

The aim of this research work is the evaluation of irrigated agriculture impacts on drainage water quality in an area (~ 150 ha) cultivated mainly with rice, located in the prefecture of Thessaloniki (among cities Sindos and Halastra). Samples were taken from irrigation and drainage network in order to examine water quality parameters, such as: electrical conductivity, pH, nitrates, ammonium, total phosphorus, potassium, calcium, magnesium, sodium and sodium adsorption ratio (SAR).

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ένας από τους κυριότερους παράγοντες για την υποβάθμιση της ποιότητας των υπόγειων και επιφανειακών υδάτων αποτελεί η μη σημειακή ρύπανση, η οποία προέρχεται ως επί το πλείστον από τα λύματα των γεωργικών δραστηριοτήτων. Το αρδευτικό νερό και το νερό της βροχής εμπλουτίζονται με άλατα, θρεπτικά στοιχεία (N και P), υπολείμματα φυτοφαρμάκων, ιζήματα και παθογόνους οργανισμούς [1,2] τόσο κατά την επιφανειακή απορροή όσο και κατά τη στράγγιση των αγρών. Ο βαθμός της ρύπανσης των τελικών αποδεκτών τους εξαρτάται από τα υδρογεωλογικά και εδαφολογικά χαρακτηριστικά της αρδευόμενης έκτασης, τα καλλιεργούμενα είδη, τις εφαρμοζόμενες γεωργικές πρακτικές, την επάρκεια και την ποιότητα του αρδευτικού νερού καθώς και την ύπαρξη ή μη στραγγιστικού δικτύου [3].

Τα τελευταία έτη έγινε προσπάθεια να ορισθούν διάφορα κριτήρια σχετικά με την ποιότητα του νερού και να εφαρμοστούν οδηγίες με στόχο τον περιορισμό της ρύπανσης των υδατικών οικοσυστημάτων από το νερό που επιστρέφει μετά την άρδευση. Ενδεικτικά αναφέρεται η οδηγία πλαίσιο για τα νερά (2000/60) της Ευρωπαϊκής Ένωσης [4].

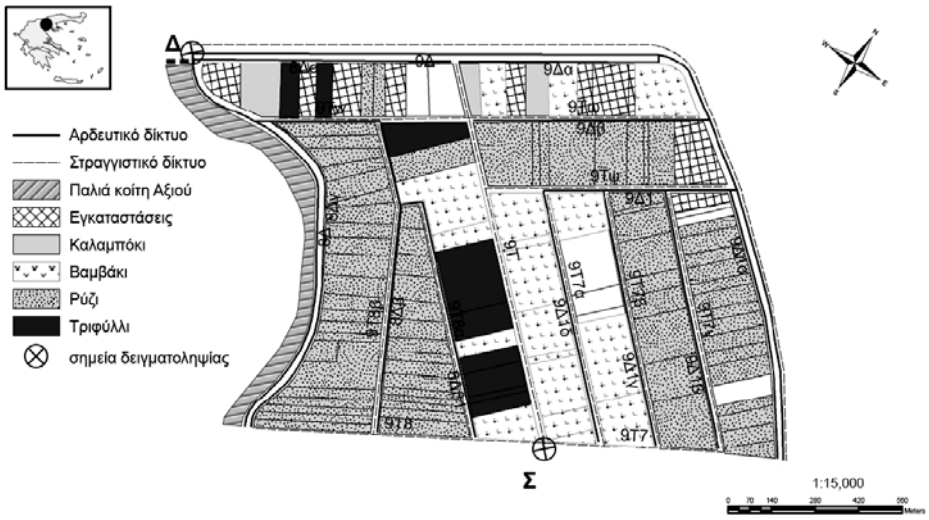
Στις περιοχές με καλλιέργειες ρυζιού οι ανάγκες σε αρδευτικό νερό είναι μεγάλες. Σημαντικό μέρος του εφαρμοζόμενου νερού επιστρέφει στα υδατικά οικοσυστήματα, μέσω του στραγγιστικού δικτύου και της επιφανειακής απορροής. Σκοπός της εργασίας είναι να εκτιμηθούν οι επιπτώσεις στην ποιότητα του νερού των στραγγιστικών δικτύων από το νερό που απορρέει και στραγγίζει λόγω της άρδευσης των καλλιεργούμενων εκτάσεων.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Η ποιότητα του αρδευτικού και του στραγγιστικού νερού μελετήθηκε σε έκταση, 1500 στρεμμάτων περίπου, η οποία βρίσκεται στην περιοχή Σίνδου – Χαλάστρας (νομός Θεσσαλονίκης) και καλλιεργήθηκε κατά το έτος 2006 με ρύζι (~800 στρ.), βαμβάκι (~350 στρ.) και μηδική (~130 στρ.) (Σχήμα 1). Τα εδάφη της περιοχής ανήκουν στην τάξη των Entisols (Typic Xerofluvents) [5]. Η περιοχή αρδεύεται με δίκτυο ανοικτών αγωγών και το αρδευτικό νερό προέρχεται από τον Αξιό ο οποίος είναι ήδη επιβαρυμένος με άζωτο (νιτρικά), όσον αφορά τα θρεπτικά στοιχεία [6,7]. Το μεγαλύτερο μέρος του νερού των στραγγιστικών δικτύων προέρχεται είτε από τους ορυζώνες είτε από απευθείας εκροές των αρδευτικών διωρύγων [8,9]. Το νερό των στραγγιστικών τάφρων της περιοχής καταλήγει στο Θερμαϊκό κόλπο.

Οι μετρήσεις των ποιοτικών παραμέτρων στο νερό του αρδευτικού και του στραγγιστικού δικτύου έγιναν για το διάστημα της λειτουργίας των δικτύων (Μάιος – Σεπτέμβριος, 2006). Έγιναν 12 δειγματοληψίες σε δύο θέσεις – στην κύρια στραγγιστική τάφρο (στο Σχήμα 1, σημείο Σ), και στην κύρια διώρυγα του αρδευτικού δικτύου (στο Σχήμα 1, σημείο Δ). Μετρήθηκαν οι παράμετροι: ηλεκτρική αγωγιμότητα (αγωγιμόμετρο, GLP 31 – Crison) και pH (πεχάμετρο, GLP 23 – Crison). Με το φασματοφωτόμετρο προσδιορίστηκαν τα νιτρικά (210/270 nm), τα αμμωνιακά (650 nm) [10,11] και ο ολικός φώσφορος (882 nm) [12]. Το ασβέστιο και το μαγνήσιο προσδιορίστηκαν στη συσκευή της ατομικής απορρόφησης ενώ το κάλιο και το νάτριο προσδιορίστηκαν στο φλογοφωτόμετρο [13,14]. Υπολογίστηκε επίσης και η αναλογία προσροφημένου νατρίου (SAR).

Υπολογίστηκαν για κάθε παράμετρο ο μέσος όρος και η τυπική απόκλιση. Αποκλείστηκαν από τους υπολογισμούς οι τιμές στο τέλος της αρδευτικής περιόδου, οι οποίες παρουσίασαν μεγάλη αύξηση εξαιτίας των μειωμένων παροχών στην αρδευτική διώρυγα και τη στραγγιστική τάφρο.



Σχήμα 1. Περιοχή μελέτης. Σημειώνονται τα σημεία δειγματοληψίας από την κύρια αρδευτική διώρυγα (Δ) και την κύρια στραγγιστική τάφρο (Σ)

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

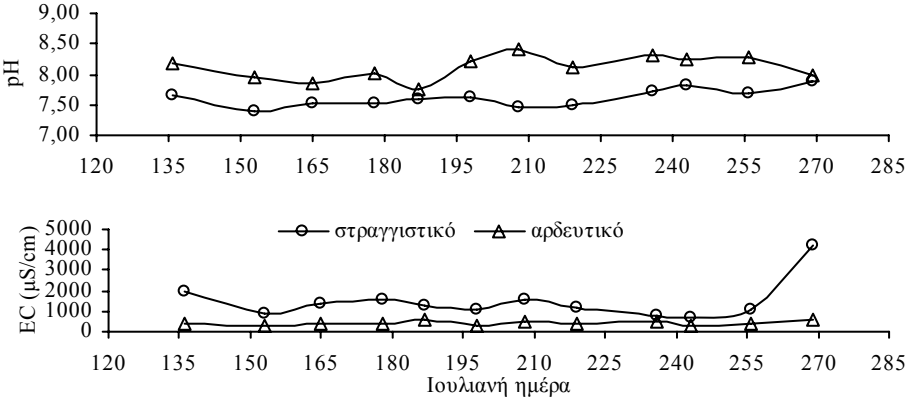
Στον πίνακα 1 δίδονται ο μέσος όρος, το εύρος τιμών και η τυπική απόκλιση των παραμέτρων της ποιότητας του νερού, που προσδιορίστηκαν στα δείγματα του αρδευτικού και του στραγγιστικού νερού.

Πίνακας 1. Μέσος όρος, εύρος τιμών και τυπική απόκλιση των παραμέτρων ποιότητας του νερού

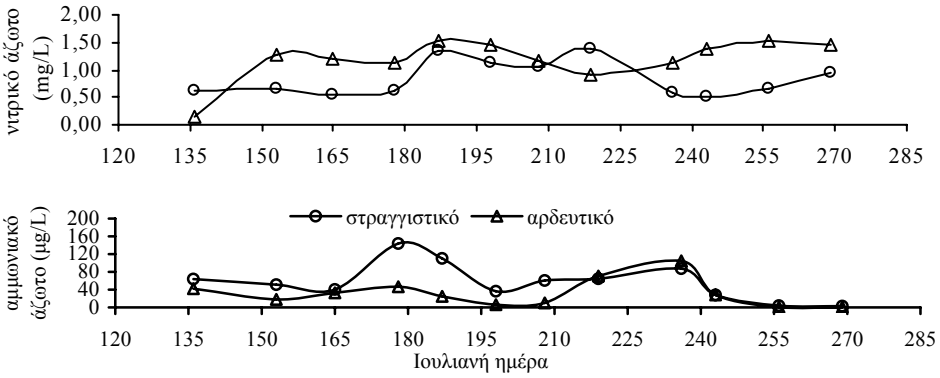
Ποιοτική παράμετρος	Μέσος όρος		Εύρος τιμών		Τυπική απόκλιση	
	Αρδευτικό (Α)	Στραγγιστικό (Σ)	(Α)	(Σ)	(Α)	(Σ)
pH	8,1	7,6	7,8–8,4	7,4–7,9	0,2	0,1
ECw(μS/cm)	388,4	943,4	280–582	683–1555	82,7	408,2
NO3–N(mg/L)	1,17	0,82	0,16–1,52	0,51–1,38	0,38	0,33
NH4–N(μg/L)	38,4	68,7	28–105	28–143,9	30,1	35,9
Ρολικός(mg/L)	0,08	0,12	0,07–0,23	0,07–0,44	0,08	0,1
Ca(mg/L)	35,9	61,6	10,8–57	23–90	13,6	20,2
Mg(mg/L)	10,1	22	5–15,1	15,9–33,5	3	5,5
K(mg/L)	2,3	3,9	1,5–5	2,7–6,1	1	0,9
Na(mg/L)	100	276	18–155	214–350	60	87
SAR	3,8	8,0	0,79–7,8	3,8–10	2,3	1,7

Οι τιμές του pH στο αρδευτικό νερό (μ.ό. 8,1) ήταν υψηλότερες από τις αντίστοιχες τιμές στο νερό της στραγγιστικής τάφρου (μ.ό. 7,6), ενώ το αντίθετο παρατηρήθηκε με τις τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (Σχήμα 2). Η μέση τιμή της αγωγιμότητας στο αρδευτικό νερό ήταν 388,4 μS/cm ενώ στο στραγγιστικό νερό 943,4 μS/cm. Η συγκέντρωση του νιτρικού αζώτου (Σχήμα 3) ήταν υψηλότερη στο αρδευτικό νερό (μ.ό. 1,17 mg/L) σε σύγκριση με την αντίστοιχη στο στραγγιστικό νερό (μ.ό. 0,82 mg/L). Η

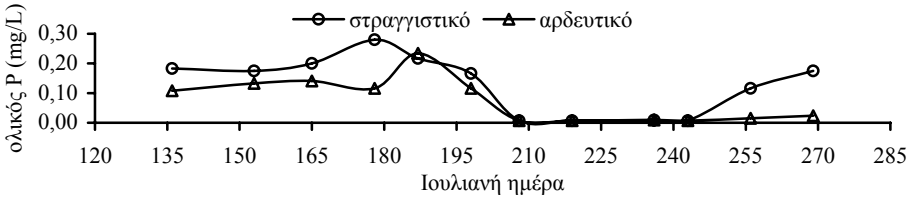
συγκέντρωση του $NH_4 - N$ (Σχήμα 3) βρέθηκε αρκετά χαμηλότερη από την αντίστοιχη του $NO_3 - N$ τόσο στο αρδευτικό (μ.ό. 38,4 μg L^{-1}) όσο και στο στραγγιστικό νερό (μ.ό. 68,7 μg L^{-1}).



Σχήμα 2. Τιμές pH και ηλεκτρικής αγωγιμότητας στο στραγγιστικό και το αρδευτικό νερό



Σχήμα 3. Μεταβολή της συγκέντρωσης του νιτρικού και αμμωνιακού αζώτου

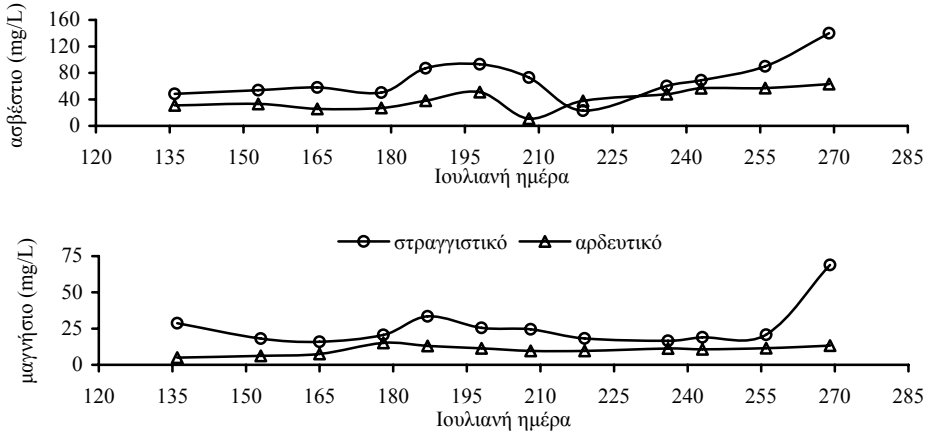


Σχήμα 4. Μεταβολή της συγκέντρωσης του ολικού φωσφόρου με το χρόνο

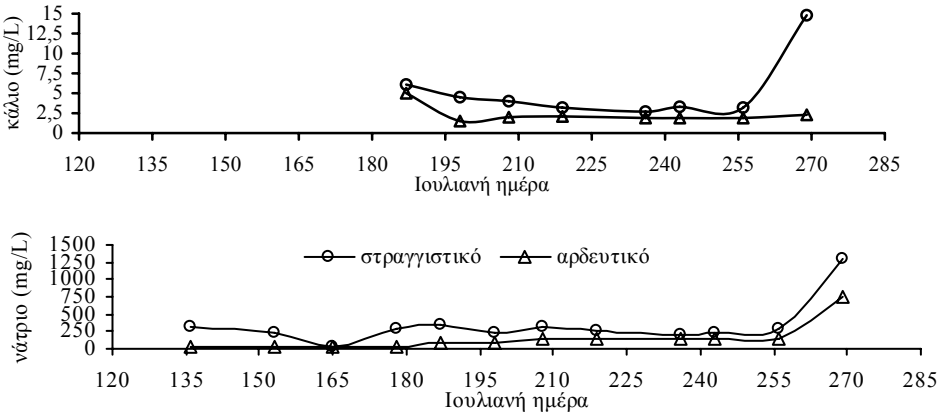
Ο μέσος όρος της συγκέντρωσης του ολικού φωσφόρου στη στραγγιστική τάφρο ήταν 0,12 mg/L ενώ στο αρδευτικό νερό ήταν 0,08 mg/L. Στο σχήμα 4 φαίνεται η μεταβολή στο χρόνο των τιμών του ολικού φωσφόρου.

Η συγκέντρωση των κατιόντων ασβεστίου, μαγνησίου, καλίου και νατρίου ήταν μεγαλύτερη στο νερό του στραγγιστικού από την αντίστοιχη συγκέντρωση στο νερό του αρδευτικού δικτύου, για όλη σχεδόν τη διάρκεια της περιόδου δειγματοληψίας (Σχήμα 5 και 6). Η μέση συγκέντρωση του ασβεστίου στα δείγματα από το αρδευτικό και το

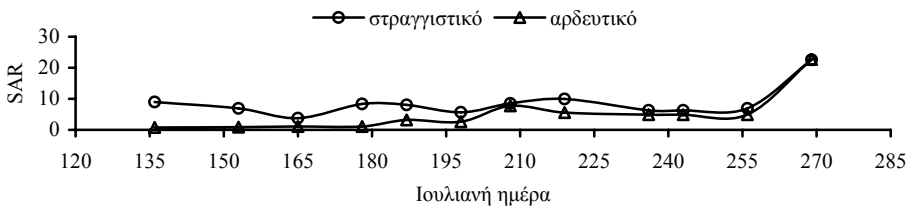
στραγγιστικό δίκτυο ήταν 35,9 και 61,6 mg L^{-1}, αντίστοιχα. Η μέση συγκέντρωση του μαγνησίου στο αρδευτικό νερό ήταν 10,1 mg/L και στο στραγγιστικό 22 mg/L. Οι αντίστοιχες τιμές για το κάλιο ήταν 2,3 mg/L στο νερό της αρδευτικής διώρυγας και 3,9 mg/L στο νερό της στραγγιστικής τάφρου. Η μέση συγκέντρωση του νατρίου ήταν 100 mg/L στο αρδευτικό και 276 mg/L στο στραγγιστικό νερό. Τέλος, οι μέσες τιμές του SAR βρέθηκαν 3,8 και 8,0 στο αρδευτικό και στραγγιστικό νερό, αντίστοιχα (Σχήμα 7).



Σχήμα 5. Μεταβολή της συγκέντρωσης του ασβεστίου και του μαγνησίου με το χρόνο



Σχήμα 6. Μεταβολή της συγκέντρωσης του καλίου και του νατρίου με το χρόνο



Σχήμα 7. Μεταβολή του SAR με το χρόνο, στο αρδευτικό και το στραγγιστικό δίκτυο

4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παρουσία και η δραστηριότητα των φυτών και των μικροοργανισμών στο στραγγιστικό δίκτυο έχει ως αποτέλεσμα τον υποβιβασμό του pH (μ.ό 7,6) σε σχέση με το pH του αρδευτικού νερού (μ.ό. 8,1). Οι κυριότερες πηγές πρωτονίων στο νερό των στραγγιστικών δικτύων είναι οι αντιδράσεις πρόσληψης κατιόντων από τα φυτά και τα φύκη, η διάσταση του CO_2 και η διάσπαση των οργανικών οξέων [15]. Με βάση τις τιμές της αγωγιμότητας το αρδευτικό νερό κατατάσσεται ως μέσης αλατότητας [16]. Οι τιμές αυτές, δεν παρουσιάζουν διαφορές από παλαιότερες μετρήσεις της ηλεκτρικής αγωγιμότητας των νερών του ποταμού Αξιού [17]. Η υψηλή υπόγεια στάθμη, ο τύπος των εδαφών και οι τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας στο αρδευτικό νερό δείχνουν ότι θα πρέπει να υπάρχει παρακολούθηση τόσο των εδαφών όσο και του αρδευτικού νερού για την αποφυγή των προβλημάτων αλάτωσης – νατρίωσης των εδαφών. Το νερό της στραγγιστικής τάφρου κατατάσσεται ως υψηλής αλατότητας [16]. Με τη διαδικασία της άρδευσης – στράγγισης (κυρίως των ορυζώνων) το νερό εμπλουτίζεται σε άλατα και ιζήματα και αυξάνεται η αγωγιμότητα του στη στραγγιστική τάφρο [3]. Στην τελευταία δειγματοληψία παρατηρήθηκε πολύ υψηλή αγωγιμότητα στο νερό της στραγγιστικής τάφρου επειδή αυτή την περίοδο οι εκροές από τους αγρούς και η παροχή στην τάφρο είναι μικρές. Εφόσον το στραγγιστικό νερό χρησιμοποιηθεί για την άρδευση των καλλιεργειών κατάντη της συγκεκριμένης περιοχής, θα πρέπει να ληφθεί υπόψη ο τύπος των εδαφών και η ποιοτική τους κατάσταση καθώς και οι καλλιέργειες που πρόκειται να αρδευτούν, προκειμένου να επιτευχθεί ορθή διαχείριση των εδαφικών και υδατικών πόρων.

Οι υψηλότερες συγκεντρώσεις του νιτρικού αζώτου στο αρδευτικό νερό, το οποίο προέρχεται από τον ποταμό Αξιό, οφείλονται στη ρύπανση του ποταμού από γεωργικές και αστικές πηγές στα ανάντη της περιοχής μελέτης [6,7]. Η πρόσληψη του N από τις καλλιέργειες και τα υγροτοπικά φυτά, που υπάρχουν άφθονα στα πρανή των επιμέρους στραγγιστικών δικτύων, σε συνδυασμό με τις αναγωγικές συνθήκες που δημιουργούνται στο νερό της στραγγιστικής τάφρου – οι οποίες ευνοούν την απονιτροποίηση – συμβάλουν στη μείωση της συγκέντρωσης του $NO_3 – N$ [18]. Η αύξηση της συγκέντρωσης του $NO_3 – N$ στο στραγγιστικό νερό μετά την 175η ημέρα (τέλος Ιουνίου) οφείλεται στην επιφανειακή λίπανση των καλλιεργειών (κυρίως των ορυζώνων), η οποία προηγείται των σχετικών δειγματοληψιών. Η συγκέντρωση του $NH_4 – N$ στο νερό της στραγγιστικής τάφρου είναι υψηλότερη, λόγω των αναγωγικών συνθηκών, από την αντίστοιχη συγκέντρωση στο αρδευτικό νερό.

Οι τιμές της συγκέντρωσης του ολικού φωσφόρου μηδενίζονται κατά το μήνα Αύγουστο, τόσο στο στραγγιστικό όσο και στο αρδευτικό νερό. Παρατηρήθηκαν ελαφρώς υψηλότερες τιμές στο στραγγιστικό νερό, οι οποίες πιθανόν να οφείλονται στη διάβρωση του εδάφους στα πρανή των επιμέρους στραγγιστικών τάφρων, την περίοδο όπου η ανανέωση του νερού των ορυζώνων είναι συνεχής και υπάρχουν απορροές από τους ορυζώνες προς το στραγγιστικό δίκτυο. Παρόμοιες συγκεντρώσεις P έχουν μετρηθεί σε απορροές από γεωργικές εκτάσεις αλλά και σε στραγγιστικά δίκτυα της χώρας [18,19]. Η αύξηση της συγκέντρωσης του P προς το τέλος της καλλιεργητικής περιόδου οφείλεται στη μείωση του όγκου του νερού μέσα στην αρδευτική διώρυγα και τη στραγγιστική τάφρο. Σημειώνεται ότι ο P στους ορυζώνες προστίθεται μόνο κατά τη βασική λίπανση (μέσα Απριλίου) ενώ δεν προστίθεται P κατά την επιφανειακή λίπανση για την αποφυγή ανάπτυξης των φυκών, μέσα στις λεκάνες.

Όπως προαναφέρθηκε, η συγκέντρωση των κατιόντων ασβεστίου, μαγνησίου, καλίου και νατρίου βρέθηκε μεγαλύτερη στο νερό του στραγγιστικού από την αντίστοιχη στο νερό του αρδευτικού δικτύου. Μεγαλύτερες συγκεντρώσεις των κατιόντων στο νερό στράγγισης μετρήθηκαν κατά την περίοδο της πλήρους λειτουργίας

του αρδευτικού δικτύου (αρχές Ιουλίου – αρχές Αυγούστου). Το κατιόν με την υψηλότερη συγκέντρωση είναι το νάτριο, γεγονός το οποίο σχετίζεται με τη γειτνίαση της περιοχής με τη θάλασσα [20]. Η αύξηση της συγκέντρωσης των κατιόντων στο τέλος της αρδευτικής περιόδου, τόσο στο στραγγιστικό όσο και στο αρδευτικό νερό οφείλεται στις μειωμένες παροχές στα αντίστοιχα δίκτυα.

Με βάση τις τιμές του SAR, το αρδευτικό νερό χαρακτηρίζεται ως νερό χαμηλής περιεκτικότητας σε νάτριο (SAR<10) [16]. Παρατηρήθηκε αύξηση του SAR μετά το μήνα Ιούνιο. Ομοίως, το νερό της στραγγιστικής τάφρου χαρακτηρίζεται οριακά ως νερό χαμηλής περιεκτικότητας σε Na. Η αύξηση του SAR στο τέλος της αρδευτικής περιόδου οφείλεται, όπως προαναφέρθηκε, στη μειωμένη παροχή στην αρδευτική και στραγγιστική τάφρο.

Η επιστημονική έρευνα στην ευρύτερη περιοχή δείχνει ότι η ρυζοκαλλιέργεια έχει τις μεγαλύτερες απαιτήσεις σε νερό, σε σύγκριση με τις υπόλοιπες καλλιέργειες [9]. Επομένως, το μεγαλύτερο μέρος του νερού που καταλήγει στην κύρια στραγγιστική τάφρο οφείλεται στις απορροές και τη στράγγιση των ορυζώνων. Το πρόγραμμα λίπανσης και άρδευσης των καλλιεργειών – κατά κύριο λόγο των ορυζώνων – επηρεάζει τη συγκέντρωση του αζώτου και του φωσφόρου αλλά και τις τιμές της αγωγιμότητας στο στραγγιστικό νερό.

Η απότομη αύξηση των τιμών όλων σχεδόν των παραμέτρων προς το τέλος της αρδευτικής περιόδου (τέλος Σεπτέμβρη), ιδιαίτερα στο στραγγιστικό νερό, οφείλεται στη μείωση του όγκου του νερού στη στραγγιστική τάφρο. Το νερό στην τάφρο είναι σχεδόν στάσιμο την περίοδο αυτή.

Τέλος, θα πρέπει να υπάρχει παρακολούθηση της ποιότητας του αρδευτικού νερού, αλλά και της ποιότητας των εδαφών, για να μη δημιουργηθούν έντονα προβλήματα αλάτωσης – νατρίωσης στους αγρούς της περιοχής.

5. ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Οι συγγραφείς ευχαριστούν το ΥΠ.Ε.Π.Θ και την Ευρωπαϊκή Ένωση για την οικονομική ενίσχυση του ερευνητικού έργου [Διαχείριση νερού και αζώτου σε ορυζώνα για εξοικονόμηση νερού και προστασία υδάτινου περιβάλλοντος], το οποίο χρηματοδοτήθηκε από την Ειδική Υπηρεσία Διαχείρισης ΕΠΕΑΕΚ [ΠΥΘΑΓΟΡΑΣ ΙΙ] καθώς και το Ινστιτούτο Εγγείων Βελτιώσεων (Σίνδος) για την παραχώρηση του εργαστηρίου χημικών αναλύσεων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

26. Αντωνόπουλος, Β.Ζ., 1991. Υποβάθμιση των υδατορευμάτων από το νερό που επιστρέφει μετά την άρδευση. *Γεωργική Έρευνα*, 15: 271 – 281.
27. Ritter, W. F. and Shirmohammadi, A., 2001. *Agricultural nonpoint source pollution*. CRC press, New York U.S.A, pp 1 – 2.
28. Gausape, J., Quilez D. and Aragues, R., 2004. Salt and nitrate concentrations in the surface waters of the CR – V irrigation district (Bardenas I, Spain): Diagnosis and prescriptions for reducing off – site contamination. *Journal of Hydrology*, 295: 87 – 100.
29. European Union, 2000. Directive 2000/60 of the European Parliament and of the Council establishing a framework for community action in the field of water pollution. *Official Journal L327*, 22/12/2000: 1 – 72.
30. Ινστιτούτο Εδαφολογίας Θεσσαλονίκης (ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε), 2003. *Εδαφολογική Μελέτη νομού Θεσσαλονίκης – Περιοχή Γαλλικού/Αξιού*. σελ. 137 – 138.

31. Antonopoulos V. Z. and Papamichail D. M., 2002. Trend analysis of water quality parameters for two transboundary rivers in northern Greece. In: Kungolos A. G. et al (eds), Proceedings of the international conference: *Protection and restoration of the environment,* Skiathos. vol. VI, pp 83 – 90.
32. Voutsa, D., Manoli, E., Samara, C., Sofoniou, M. and Stratis, I., 2001. A study of surface water quality in Macedonia, Greece: Speciation of nitrogen and phosphorus. *Water, Air, and Soil Pollution,* 129: 13–32.
33. Αραμπατζής, Γ., Χατζηγιαννάκης, Ε. και Πανώρας, Α., 2005. Απώλειες νερού κατά τη διανομή και εφαρμογή του σε συλλογικά αρδευτικά δίκτυα. *Ελληνική Επιτροπή Διαχείρισης Υδατικών Πόρων (Ε.Ε.Δ.Υ.Π.), πρακτικά 5ου πανελληνίου συνεδρίου*, 6-9 Απριλίου, Ξάνθη.
34. Αντωνόπουλος Β.Ζ., Ασχονίτης Β.Γ. και Λίτσκας, Β.Δ., 2007. Προσομοίωση του ισοζυγίου νερού σε ορυζώνα με το μοντέλο GLEAMS. *6ο Εθνικό Συνέδριο ΕΕΔΥΠ "Ολοκληρωμένη διαχείριση υδατικών πόρων με βάση τη λεκάνη απορροής"*. 14-16 Ιουνίου, Χανιά.
35. Clesceri, L.S., Greenberg, A.E. and Truseell, R.R., 1989. *Standard methods for examination of water and wastewater*. 17th Edition. APHA, AWWA, WPCF. Washington, DC, USA.
36. Nelson, D.W., 1983. Determination of ammonium in KCl extracts of soils by the salicylate method. *Commun. Soil Sci. Soc. Am. J.* 42: 1051 – 1062.
37. Olsen, S.R. and Sommers, L.E., 1982. Phosphorus. In: Page A.L. et al. (Eds), *Methods of soil Analysis Part 2 – chemical and microbiological properties*. Pp. 403 – 430. 2nd Edition. Agronomy 9, ASA, SSSA. Madison, Winsconsin.
38. Αλεξιάδης, Κ.Α. 1967. *Φυσική και Χημική ανάλυση του εδάφους*. Θεσσαλονίκη.
39. Thomas, G.W. 1982. Exchangeable cations. In: Page A.L. et al. (Eds), *Methods of soil Analysis Part 2 – chemical and microbiological properties.* Pp. 403 – 430. 2nd Edition. Agronomy 9, ASA, SSSA. Madison, Winsconsin.
40. U.S. Environmental Protection Agency, 1999. *Free water surface wetlands for wastewater treatment. A technology assessment*. Phoenix, Arizona
41. Αντωνόπουλος, Β. Ζ., 2003. *Υδραυλική Περιβάλλοντος και ποιότητα επιφανειακών υδάτων.* Εκδόσεις Γιαχούδη, Θεσσαλονίκη, σελ. 446.
42. Αντωνόπουλος, Β. και Τσιούρης, Σ., 1991. Σχέσεις παροχής και ποιοτικών παραμέτρων του νερού στον ποταμό Αξιό. *Πρακτικά συνεδρίου Περιβαλλοντικής Επιστήμης και Τεχνολογίας,* 2 – 5 Σεπτεμβρίου, Μόλυβος Μυτιλήνης, σελ. 640 – 648.
43. Skoulikidis, N., Zagana, E., Nikolaidis, N. P. and Drosos, Th., 2002. Nutrient contribution of agriculture in the lower Acheloos basin. Proceedings of the international conference: *Protection and Restoration of the Environment VI*, Skiathos, July 1 – 5. pp. 505 – 512.
44. Tsiouris, S. E., Mamolos, A. P., Kalburtji, K.L. and Barbayiannis, N., 2002. Fertilizer management in watersheds of two Ramsar wetlands and effects on quality of inflowing water. *Environmental management*, 29: 610 – 619.
45. Χατζηγιαννάκης, Ε., Ματσή, Θ., Αραμπατζής Γ. και Ηλίας, Α., 2006. Επισκόπηση των εδαφών της περιοχής Χαλάστρας – Καλοχωρίου σχετικά με το πρόβλημα αλάτωσης – νατρίωσης. *Πρακτικά 11ου Πανελλήνιου Εδαφολογικού Συνεδρίου* (4 – 7 Οκτωβρίου, Άρτα). Σελ. 539 – 546.

(176)

ΜΟΝΙΜΗ ΟΜΟΙΟΜΟΡΦΗ ΡΟΗ ΣΕ ΑΝΟΙΚΤΟΥΣ ΑΓΩΓΟΥΣ ΤΡΑΠΕΖΟΕΙΔΟΥΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ

Μ. Θεοχάρης
ΤΕΙ Ηπείρου, Τμήμα Φυτικής Παραγωγής, Εργαστήριο Αρδεύσεων και Στραγγίσεων, Κωστακιοί Άρτας Τ.Κ. 47100, e-mail: theoxar@teiep.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι μεταβλητές, που υπεισέρχονται στη μελέτη του προβλήματος της μόνιμης ομοιόμορφης ροής στους ανοικτούς αγωγούς τραπεζοειδούς διατομής, είναι το βάθος ροής, το πλάτος του πυθμένα, η κλίση των πρανών, η παροχή, ο συντελεστής τραχύτητας και η κατά μήκος κλίση του αγωγού. Από όλους τους τρόπους υπολογισμού επικρατέστερος είναι ο υπολογισμός με την εξίσωση του R. Manning, η οποία όμως είναι πεπλεγμένη συνάρτηση των μεταβλητών του προβλήματος, γεγονός που επιβάλλει την εφαρμογή κοπιαστικής και χρονοβόρας επαναληπτικής διαδικασίας. Σε αυτό το άρθρο παρουσιάζεται ένα πρόγραμμα Η/Υ, το οποίο είναι προσιτό σε ευρύ φάσμα ερευνητών και μπορεί να ενσωματωθεί ως υπορουτίνα σε μεγάλα λογισμικά πακέτα υπολογισμών σε ανοικτούς αγωγούς.

STEADY UNIFORM FLOW IN TRAPEZOIDAL OPEN CHANNELS

M. Theocharis
Technical Educational Institution of Epirus, Department of Crop Production, Laboratory of Irrigation and Drainage, 47100 Arta, Greece , e-mail: theoxar@teiep.gr

ABSTRACT

The variables of the problem of steady uniform flow in open channels of trapezoidal cross-section are: the flow depth, the bed width, the side slopes, the discharge, the roughness coefficient and the hydraulic slope. Among the suggested calculation methods, the Manning's formula is the prevailed one. However, the Manning's formula for trapezoidal sections is a complex function of a lot of variables; its solution is time consuming and requires a lot of iterations. In this paper a Visual Basic program for the study of uniform flow in trapezoidal channels is presented, which is approachable to a wide range of researchers and therefore can be used as a subroutine in computational programs for open channel networks.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Όταν ένας αγωγός μεταφοράς νερού παρουσιάζει ελεύθερη υγρή επιφάνεια ονομάζεται *ανοικτός αγωγός* ή *αγωγός ελεύθερης ροής*. Η πίεση στην επιφάνεια του υγρού είναι σταθερή και ίση με την ατμοσφαιρική. Οι δυνάμεις που προκαλούν τη ροή στους ανοικτούς αγωγούς οφείλονται στη βαρύτητα, ενώ οι δυνάμεις που επιβραδύνουν τη ροή οφείλονται στην ιξώδη διάτμηση και στις τριβές κατά μήκος των τοιχωμάτων του αγωγού. (Οι δυνάμεις επιφανειακής τάσεως και η αντίσταση του αέρα πάνω στη ελεύθερη επιφάνεια θεωρούνται αμελητέες και δεν παίρνονται υπόψη) [1]. Το βάθος ροής , η παροχή και οι κλίσεις του πυθμένα και της ελεύθερης επιφάνειας αλληλεξαρτώνται και επομένως η μελέτη τέτοιων προβλημάτων είναι πιο δύσκολη από τη μελέτη προβλημάτων ροής υπό πίεση [2]. Γενικά διακρίνονται δύο είδη ανοικτών αγωγών, οι *τεχνητοί αγωγοί* και οι *φυσικοί αγωγοί*, ανάλογα με την αρχική τους διαμόρφωση. Οι φυσικοί ανοικτοί αγωγοί έχουν συνήθως διάφορες διατομές, με ακανόνιστα σχήματα και με μεγάλη ποικιλία τραχύτητας στα τοιχώματά τους. Οι τεχνητοί αγωγοί επίσης έχουν διάφορες διατομές, αλλά εξαιτίας της κατασκευής τους από τον άνθρωπο, αυτοί είναι γνωστής γεωμετρίας και υλικών κατασκευής και η ποικιλία της τραχύτητας είναι μικρότερη. Οι τεχνητοί αγωγοί ονομάζονται *πρισματικοί* όταν η διατομή και η κλίση του πυθμένα τους είναι σταθερές. Οι πρισματικοί αγωγοί ονομάζονται *ορθογωνικοί, τραπεζοειδείς, τριγωνικοί, ημικυκλικοί, παραβολικοί* κ.λπ., ανάλογα με το γεωμετρικό σχήμα της διατομής τους [1].

2. ΕΙΔΗ ΡΟΗΣ

Η ροή σε ανοικτούς αγωγούς μπορεί να χωριστεί σε διάφορες κατηγορίες και να περιγραφεί με διαφόρους τρόπους. Έτσι με βάση τη μεταβολή των διαφόρων παραμέτρων της ροής σε σχέση με το χρόνο και το χώρο η ροή διακρίνεται σε α. Σταθερή και ασταθή ροή, β. Στρωτή και τυρβώδη ροή, γ. Ομοιόμορφη και ανομοιόμορφη ροή, δ. Υποκρίσιμη, υπερκρίσιμη και κρίσιμη ροή και ε. Αστρόβιλη και στροβιλώδη ροή.

2.1. Σταθερή και ασταθής ροή

Η ροή σε έναν ανοικτό αγωγό ονομάζεται σταθερή ή μόνιμη όταν οι μεταβλητές της σε ένα σημείο (ταχύτητα, βάθος κ.λπ.) είναι ανεξάρτητες από το χρόνο. Αυτό εξασφαλίζεται από τη συνθήκη $\frac{\partial \overline{u}}{\partial t} = 0$. Στην αντίθετη περίπτωση, δηλαδή όταν $\frac{\partial \overline{u}}{\partial t} \neq 0$, η ροή ονομάζεται ασταθής ή μη μόνιμη.

2.2. Στρωτή και Τυρβώδης ροή

Με βάση τον αριθμό Reynolds η ροή διακρίνεται σε στρωτή ροή (R_e< 500) και σε τυρβώδη ροή (R_e > 2000) [1]. Η ενδιάμεση κατάσταση ροής ονομάζεται μεταβατική. Ο αριθμός Reynolds για ανοικτούς αγωγούς υπολογίζεται από τη σχέση:

$$R_e = \frac{4RV}{\nu} \qquad (1)$$

όπου R είναι η υδραυλική ακτίνα της υγρής διατομής σε m , V είναι η μέση ταχύτητα ροής σε m/s και ν είναι το κινηματικό ιξώδες του ρέοντος νερού σε m^2/s. Η τυρβώδης ροή είναι συχνότερη και αναφέρεται σε περισσότερα από 99 % των προβλημάτων της ροής των ανοικτών αγωγών που απαντώνται στην πράξη.

2.3. Ομοιόμορφη και ανομοιόμορφη ροή

Η ροή ονομάζεται ομοιόμορφη όταν οι μεταβλητές της σε μία χρονική στιγμή είναι ανεξάρτητες από το χώρο, δηλαδή είναι οι ίδιες σε όλα τα σημεία κατά μήκος του αγωγού. Αυτό εξασφαλίζεται από τη συνθήκη $\frac{\partial \bar{u}}{\partial L} = 0$. Στην αντίθετη περίπτωση δηλαδή όταν $\frac{\partial \bar{u}}{\partial L} \neq 0$, η ροή ονομάζεται ανομοιόμορφη. Η ροή στους ανοικτούς αγωγούς είναι κατά κανόνα ασταθής και ανομοιόμορφη. Λόγω όμως της πολυπλοκότητάς της, τα προβλήματα των τεχνητών ανοικτών αγωγών αντιμετωπίζονται στην πράξη με την παραδοχή μόνιμης ομοιόμορφης ροής στα ευθύγραμμα τμήματα των αγωγών μεγάλου μήκους και μόνιμης ανομοιόμορφης ροής στις γωνίες, ρυθμιστικές θυρίδες, στους καταβαθμούς, εκχειλιστές κ.λπ.

2.4. Υποκρίσιμη, κρίσιμη και υπερκρίσιμη, ροή

Υποκρίσιμη είναι η ροή όταν η ταχύτητά της είναι μικρότερη από την κρίσιμη ταχύτητα. Υπερκρίσιμη είναι η ροή όταν η ταχύτητά της είναι μεγαλύτερη από την κρίσιμη ταχύτητα, ενώ όταν η ταχύτητα ροής είναι ίση με την κρίσιμη ταχύτητα η ροή ονομάζεται κρίσιμη [1] και οι δυνάμεις μάζας και αδρανείας είναι ίσες [4]. Ο έλεγχος της κατάστασης της ροής γίνεται με αριθμό Froude, F_r, ο οποίος είναι ένας αδιάστατος αριθμός που ορίζεται ως το πηλίκο της μέσης ταχύτητας της ροής ,V, προς την ταχύτητα μεταδόσεως των μικρών κυμάτων ,c, όπου $c = \sqrt{gE/B}$, E= υγρή διατομή και B = πλάτος διατομής στην επιφάνεια του νερού. Η ταχύτητα μεταδόσεως των μικρών κυμάτων ,c, ισούται με την κρίσιμη ταχύτητα. Για ορθογωνικούς αγωγούς, όπου $y = \frac{E}{B}$ είναι το υδραυλικό βάθος ροής η κρίσιμη ταχύτητα είναι $c = \sqrt{gy}$. Σύμφωνα με τα παραπάνω [1], η τιμή του αριθμού Froude είναι:

$$F_r = \frac{V}{\sqrt{gE/B}} \qquad (2)$$

Όταν είναι $F_r < 1$ η ροή είναι υποκρίσιμη. Όταν είναι $F_r > 1$ η ροή είναι υπερκρίσιμη. Όταν είναι $F_r = 1$ η ροή είναι κρίσιμη.

2.5. Αστρόβιλη και στροβιλώδης ροή

Αστρόβιλη λέγεται η ροή όταν τα σωματίδια δε διαθέτουν γωνιακή ταχύτητα περί το κέντρο τους, ($\nabla x\bar{u} = 0 \rightarrow \omega = 0$). Σε αντίθετη περίπτωση λέγεται στροβιλώδης. Στα πραγματικά ρευστά η ροή είναι πάντα, λιγότερο ή περισσότερο, στροβιλώδης. Λόγω όμως του ότι το νερό διαθέτει μικρό ιξώδες, η επίδραση του εξασθενεί γρήγορα πέρα από τα τοιχωμάτα και περιορίζεται σε ένα λεπτό στρώμα σε αυτά. Η ροή διαμορφώνεται κυρίως από δυνάμεις βαρύτητας δηλαδή θεωρείται αστρόβιλη, και η επίδραση του ιξώδους, (και της τραχύτητας), λαμβάνεται υπόψη μέσω εμπειρικών τύπων απωλειών [3].

3. ΤΥΠΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΤΗΣ ΜΟΝΙΜΗΣ ΟΜΟΙΟΜΟΡΦΗΣ ΡΟΗΣ ΣΕ ΑΝΟΙΚΤΟΥΣ ΑΓΩΓΟΥΣ

Οι χρησιμοποιούμενοι τύποι υπολογισμού της ταχύτητας της μόνιμης ομοιόμορφης ροής σε ανοικτούς αγωγούς είναι της γενικής μορφής [1],[2],[3]:

$$V = C\sqrt{RJ} \qquad (3)$$

όπου V είναι η μέση ταχύτητα ροής σε m/s, C είναι συντελεστής τραχύτητας σε $m^{1/2}/s$, J είναι η κλίση της γραμμής ενεργείας και R είναι η υδραυλική ακτίνα σε m. Η σχέση αυτή προτάθηκε από το Γάλλο μηχανικό Antoine Chezy ύστερα από μετρήσεις που έκανε σε χωμάτινη διώρυγα και στον ποταμό Seine το 1769 [3]. Ο τύπος του Chezy ισχύει μόνο για ομοιόμορφη ροή σε τραχείς αγωγούς και με μεγάλη σχετική ταχύτητα. Οι συνηθέστερες από τις εκφράσεις υπολογισμού του συντελεστή τραχύτητας, προτάθηκαν από τους Darcy-Weisbach, τους Manning - Strickler, τον Bazin, τους Kutter -Ganguillet, τον Kutter, και τον Powell *(πίνακας 1)*. Από όλους αυτούς τους τρόπους υπολογισμού της τραχύτητας επικρατέστερος είναι ο υπολογισμός με την εξίσωση των Manning - Strickler.

Πίνακας 1. Τιμές του συντελεστή τραχύτητας του Chezy για τον υπολογισμό της μόνιμης ομοιόμορφης ροής σε ανοικτούς αγωγούς [1], [5], [6], [7], [8].

	Όνομα ερευνητή	C	Παρατηρήσεις
1	Τύπος των Darcy – Weisbach [1]	$\sqrt{\frac{8g}{f}}$	Ο συντελεστής f εξαρτάται από την τραχύτητα του αγωγού και τον αριθμό του Reynolds .
2	Τύπος των Manning – Strickler [5].	$\frac{m}{n}R^{1/6}$	Στο διεθνές σύστημα είναι m=1 και στο Αγγλοσαξονικό m=1,49.
3	Τύπος του Bazin [6].	$\frac{87}{1+\frac{\gamma}{\sqrt{R}}}$	Εφαρμόζεται μόνο στη Γαλλία και δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα για ταχύτητες 1,20 m/s.
4	Τύπος των Kutter – Ganguillet [7].	$\frac{23+\frac{0,00155}{J}+\frac{1}{n}}{1+\left(23+\frac{0,00155}{J}\right)\frac{n}{\sqrt{R}}}$	Η χρήση του είναι περιορισμένη και αντί για αυτόν χρησιμοποιείται ο τύπος του Manning.
5	Τύπος του Kutter [7].	$\frac{100\sqrt{R}}{m+R}$	Εφαρμόζεται κυρίως στον υπολογισμό δικτύων υπονόμων.
6	Τύπος του Powell [8].	$-m\log\left(\frac{C}{R_e}+\frac{\varepsilon}{R}\right)$	Στο Αγγλοσαξονικό σύστημα είναι m=42 και στο διεθνές m=23,182.

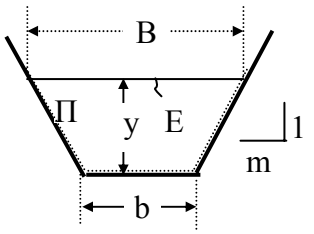
4. ΕΠΙΛΥΣΗ ΤΩΝ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ ΤΗΣ ΜΟΝΙΜΗΣ ΟΜΟΙΟΜΟΡΦΗΣ ΡΟΗΣ ΣΕ ΑΝΟΙΚΤΟΥΣ ΑΓΩΓΟΥΣ ΤΡΑΠΕΖΟΕΙΔΟΥΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ

Η επίλυση των προβλημάτων της μόνιμης ομοιόμορφης ροής των ασυμπίεστων ρευστών απαιτεί την ταυτόχρονη λύση της εξίσωσης συνεχείας και της ημιεμπειρικής εξίσωσης του Manning. Για την περίπτωση της τραπεζοειδούς διατομής ισχύουν οι σχέσεις:

$$E = by + my^2 \qquad (4), \qquad \Pi = b + 2y\sqrt{1+m^2} \qquad (5), \quad \text{και} \quad R = \frac{by+my^2}{b+2y\sqrt{1+m^2}} \qquad (6)$$

Επομένως η εξίσωση του Manning παίρνει τη μορφή:

$$\frac{Q}{E} = \frac{1}{n} J^{1/2} \left(\frac{by + my^2}{b + 2y\sqrt{1+m^2}} \right)^{2/3} \qquad (7)$$



Σχήμα 1. Χαρακτηριστικά τραπεζοειδούς διατομής.

Οι μεταβλητές του προβλήματος είναι το βάθος ροής, y, το πλάτος του πυθμένα, b, η κλίση των πρανών, m, η παροχή του αγωγού, Q, ο συντελεστής του Manning, n, και η κατά μήκος κλίση του αγωγού, J. Όταν από αυτές είναι γνωστές οι πέντε μπορεί να υπολογιστεί η έκτη. Η τραπεζοειδής διατομή είναι γενική περίπτωση και μεταπίπτει σε ορθογωνική διατομή όταν m= 0 , καθώς επίσης σε τριγωνική διατομή όταν b=0.

4. ΕΠΙΛΥΣΗ ΤΩΝ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ ΜΕ ΤΗ ΒΟΗΘΕΙΑ Η/Υ

Η δυσκολία στην επίλυση των προβλημάτων οφείλεται στο ότι η εξίσωση του Manning είναι πεπλεγμένη συνάρτηση των γεωμετρικών στοιχείων της διατομής με αποτέλεσμα να απαιτείται η εφαρμογή επαναληπτικής διαδικασίας η οποία είναι κοπιαστική και χρονοβόρα, ιδιαίτερα όταν πρόκειται για εκτεταμένα δίκτυα αγωγών, όπου ο υπολογισμός πρέπει να συνδυάζεται αυτόματα με τον υπολογισμό άλλων μεγεθών. Για το λόγο αυτό αναπτύχθηκε ένα απλό πρόγραμμα υπολογισμού, το οποίο να είναι προσιτό σε ευρύ φάσμα ερευνητών και να μπορεί να ενσωματωθεί ως υπορουτίνα σε υπολογιστικά πακέτα για ανοικτούς αγωγούς. Στη συνέχεια παρουσιάζεται ένα τέτοιο πρόγραμμα σε γλώσσα Microsoft Visual Basic, με τη βοήθεια του οποίου υπολογίζεται το ένα από τα μεγέθη: y, b, m, Q, n, J, όταν είναι γνωστά τα υπόλοιπα πέντε.

5.1. Εισαγωγή δεδομένων

Στα κελιά D6 έως D11 ενός λογιστικού φύλλου (spreadsheet) εισάγονται τα μεγέθη y, b, m, Q, n και J αντίστοιχα. Στο κελί που αφορά το άγνωστο μέγεθος εισάγεται το σημείο, ; , και στα υπόλοιπα οι τιμές των γνωστών δεδομένων. Στο κελί D12 εισάγεται η εξίσωση του Manning, (εξ. 7), η οποία έχει την έκφραση: =(if(d9=";"; g26;d9)) /(if(d6=";";g26*d7+d8*g26^2;if(d7=";";g26*d6+d8*d6^2;if(d8=";";d7*d6+g26*d6^2;d7 *d6+d8*d6^2))))-(1/(if(d10=";";g26;d10)))*((if(d11=";";g26;d11))^(1/2))*(((if(d6=";"; g26*d7+d8*g26^2;if(d7=";";g26*d6+d8*d6^2;if(d8=";";d7*d6+g26*d6^2;d7*d6+d8*d 6^2))))/(if(d6=";";d7+2*g26*((1+d8^2)^(1/2));if(d7=";";g26+2*d6*((1+d8^2)^(1/2));if(d8=";";d7+2*d6*((1+g26^2)^(1/2));d7+2*d6*((1+d8^2)^(1/2)))))))^(2/3)) και ισχύει για όλες τις περιπτώσεις.

5.2. Επίλυση του προβλήματος

Για την επίλυση του προβλήματος αναπτύσσεται η μακροεντολή :

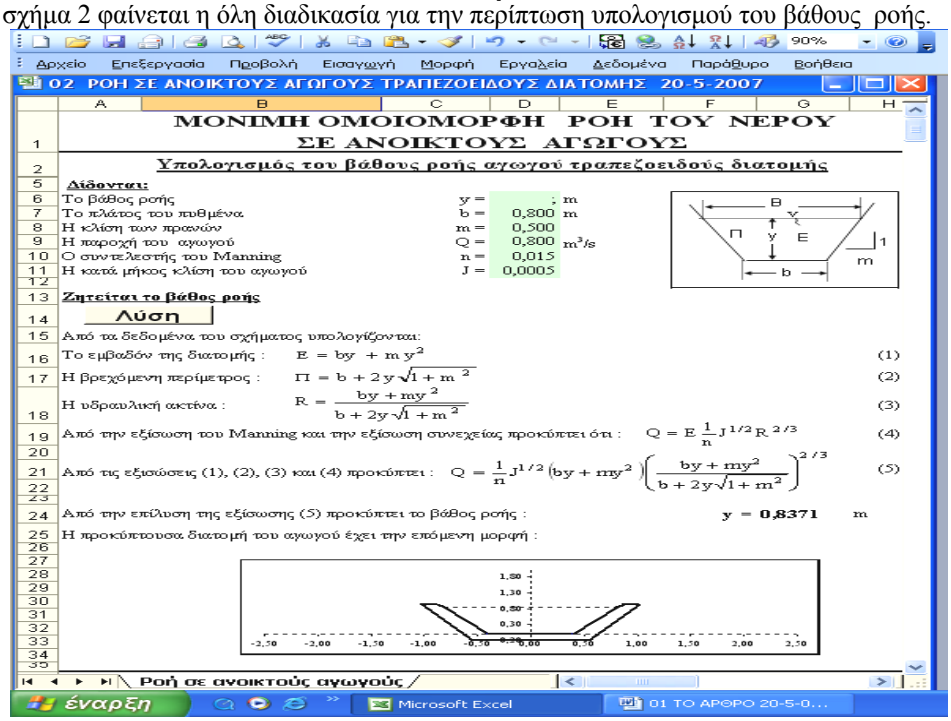
Sub Μακροεντολή1()

'Μόνιμη Ομοιόμορφη Ροή σε Ανοικτούς Αγωγούς Τραπεζοειδούς Διατομής

```
'Καταγραφή μακροεντολής 26/5/2007 από Μενέλαο Θεοχάρη
If Range("d6") = ";" Then
Range("a2").Cells = "Υπολογισμός του βάθους ροής αγωγού τραπεζοειδούς διατομής"
Range("d12").GoalSeek Goal:=0, ChangingCell:=Range("g24")
Range ("g24").Select
Range ("a13").Cells = "Ζητείται το βάθος ροής"
Range("a7").Cells = "Το πλάτος του πυθμένα"
Range("a8").Cells = "Η κλίση των πρανών"
Range("a9").Cells = "Η παροχή του  αγωγού"
Range("a10").Cells = "Ο συντελεστής του Manning"
Range("a11").Cells = "Η κατά μήκος κλίση του αγωγού"
Range("a24").Cells = "Από την επίλυση της  εξίσωσης  (5) προκύπτει το βάθος ροής :"
Range ("f24").Cells = "y ="
Range ("h24").Cells = "m"
ElseIf Range ("d7") = ";" Then
Range("a2").Cells = "Υπολογισμός του πλάτους πυθμένα αγωγού τραπεζοειδούς
διατομής"
Range ("d12").GoalSeek Goal:=0, ChangingCell:=Range("g24")
Range("g24").Select
Range("a13").Cells = "Ζητείται το πλάτος του πυθμένα"
Range("a24").Cells = "Από την επίλυση της  εξίσωσης (5) προκύπτει το πλάτος του
πυθμένα : "
Range("f24").Cells = "b ="
Range("h24").Cells = "m"
ElseIf Range("d8") = ";" Then
Range("a2").Cells = "Υπολογισμός της κλίσης των πρανών αγωγού τραπεζοειδούς
διατομής "
Range("d12").GoalSeek Goal:=0, ChangingCell:=Range("g24")
Range("g24").Select
Range("a13").Cells = "Ζητείται η κλίση των πρανών"
Range("a24").Cells = "Από την επίλυση της  εξίσωσης (5) προκύπτει η κλίση των
πρανών : "
Range("f24").Cells = "m ="
Range("h24").Cells = ""
ElseIf Range("d9") = ";" Then
Range("a2").Cells = "Υπολογισμός της παροχής αγωγού τραπεζοειδούς διατομής"
Range("d12").GoalSeek Goal: =0, ChangingCell:=Range("g24")
Range("g24").Select
Range("a13").Cells = "Ζητείται η παροχή του αγωγού"
Range("a24").Cells = "Από την επίλυση της  εξίσωσης (5) προκύπτει η παροχή του
αγωγού : "
Range("f24").Cells = " Q ="
Range("h24").Cells = "m3/s"
ElseIf Range("d10") = ";" Then
Range("a2").Cells = "Υπολογισμός  του συντελεστή του Manning αγωγού τραπεζο-
 ειδούς διατομής"
Range("d12").GoalSeek Goal:=0, ChangingCell:=Range("g24")
Range("g24").Select
Range("a13").Cells = "Ζητείται ο συντελεστής του Manning"
Range("a24").Cells = "Από την επίλυση της  εξίσωσης (5) προκύπτει ο συντελεστής του
Manning :"
```

```
Range("f24").Cells = " n ="
Range("h24").Cells = ""
ElseIf Range("d11") = ";" Then
Range("a2").Cells = "Υπολογισμός της κατά μήκος κλίσης αγωγού τραπεζοειδούς διατομής"
Range("d12").GoalSeek Goal: =0, ChangingCell:=Range("g24")
Range("g24").Select
Range("a13").Cells = "Ζητείται η κατά μήκος κλίση του αγωγού"
Range("a24").Cells = "Από την επίλυση της  εξίσωσης (5) προκύπτει η κατά μήκος κλίση του αγωγού:"
Range("f24").Cells = " J  ="
Range("h24").Cells = ""
Else
Range("g24").Cells = "1000"
End If
End Sub
```

Στη συνέχεια πατώντας το πλήκτρο **Λύση** προκύπτει η λύση του προβλήματος. Στο σχήμα 2 φαίνεται η όλη διαδικασία για την περίπτωση υπολογισμού του βάθους ροής.



Σχήμα 2. Υπολογιστικό φύλλο για τον προσδιορισμό του βάθους ροής.

5.3. Εφαρμογή

Για b=0,60 m, m=0,30 , Q=2,00 m^3/s, n = 0,015 m και J=5 ‰ προκύπτει y = 0,99 m.

3. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην περίπτωση των τραπεζοειδών αγωγών οι μεταβλητές που υπεισέρχονται στο πρόβλημα είναι το βάθος ροής, το πλάτος του πυθμένα, η κλίση των πρανών, η παροχή

του αγωγού, ο συντελεστής του Manning, και η κατά μήκος κλίση του αγωγού. Η τραπεζοειδής διατομή είναι γενική, που μεταπίπτει σε ορθογωνική, όταν η κλίση των πρανών είναι μηδενική, και σε τριγωνική διατομή όταν το πλάτος πυθμένα είναι μηδέν.

Η δυσκολία στην επίλυση των προβλημάτων στους τραπεζοειδείς αγωγούς οφείλεται στο ότι η εξίσωση του Manning είναι πεπλεγμένη συνάρτηση των γεωμετρικών και υδραυλικών χαρακτηριστικών, με αποτέλεσμα η επίλυσή της να απαιτεί πολλές και κοπιαστικές πράξεις και να είναι αναπόφευκτη η χρήση Η/Υ.

Το πρόγραμμα επίλυσης των προβλημάτων υπολογισμού των μεταβλητών της σταθερής ομοιόμορφης ροής σε τραπεζοειδείς αγωγούς που αναπτύχθηκε στην παρούσα μελέτη, είναι απλό στη χρήση, δεν απαιτεί εξειδικευμένες γνώσεις πληροφορικής, είναι προσιτό σε ευρύ φάσμα ερευνητών και μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην καθημερινή πράξη. Επίσης μπορεί να ενσωματωθεί ως υπορουτίνα σε άλλα λογισμικά πακέτα για ανοικτούς αγωγούς.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Τερζίδης, Γ., 1982. *Μαθήματα Υδραυλικής, 3. Ανοικτοί Αγωγοί*, Εκδώσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη, σελ. 9-34.
2. Δημητρακόπουλος, Α. Κ., και Χατζηθεοδώρου, Χ., 1992. *Στοιχεία Υδραυλικής*, Εκδόσεις Παν/μίου Πατρών, Πάτρα, σελ 345-359
3. Αργυπόπουλος, Π. Α., 1962. *Θεωρητική και Εφηρμοσμένη Υδραυλική*, Οίκος Τεχνικών Εκδόσεων Αφων Ι. Λιόντη, Πειραιεύς, σελ. 117-164
4. Ξανθουλέας, Α. Σ., 1985. *Πίνακες υπολογισμού ομοιόμορφης ροής σε αγωγούς ελεύθερης ροής.*, Τεχνικά Χρονικά , Τεύχη 10-12/1985, Αθήνα.
5. Manning, R., 1890. *Flow of water in open channels and pipes,* Trans. Inst. of Civil Eng. of Ireland, Vol. 20.
6. Bazin, H., 1869. *Etude d'une non elle tormule pour calculer le débit des canaux dewnverts*, Mémoire No 41, Annales des ponts et chamllées, Vol. 14.
7. Ganguillet, E. and Kutter, W. R., 1869. Versuch *zur Aufstellung einer neuen allgemeinen Formel für die gleichförmige Bewegung des Wassers in Kanälen und Flüssen,* Zeitschrift des Österreichischen Ingenieur – und Architekten Vereines, Vol. 21, No 1,2,3, Vienna
8. Powell, R, W., and Posey, C. J., 1959. *Resistance Experiments in a Triangular Channel*, Prc. ASCE, Hydraulics Division, May 1959, p. 45.

(177)

ΜΟΝΙΜΗ ΟΜΟΙΟΜΟΡΦΗ ΡΟΗ ΣΕ ΑΝΟΙΚΤΟΥΣ ΑΓΩΓΟΥΣ ΚΥΚΛΙΚΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΒΟΛΙΚΗΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ

Μ. Θεοχάρης
ΤΕΙ Ηπείρου, Τμήμα Φυτικής Παραγωγής, Εργαστήριο Αρδεύσεων και Στραγγίσεων, Κωστακιοί Άρτας Τ.Κ. 47100, e-mail: theoxar@teiep.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι παράμετροι που υπεισέρχονται στη μελέτη του προβλήματος της μόνιμης ομοιόμορφης ροής στους ανοικτούς αγωγούς κυκλικής διατομής είναι η διάμετρος του αγωγού, το μέσο βάθος ροής (ή το πλάτος της ελεύθερης επιφάνειας), η παροχή του αγωγού, ο συντελεστής του Manning και η κατά μήκος κλίση του αγωγού. Ομοίως για την περίπτωση αγωγών παραβολικής διατομής είναι το μέσο βάθος ροής, το πλάτος της ελεύθερης επιφάνειας, η παροχή του αγωγού, ο συντελεστής του Manning και η κατά μήκος κλίση του αγωγού. Σε αυτό το άρθρο αναπτύσσονται δύο προγράμματα Η/Υ για τον υπολογισμό της ροής στους ανοικτούς αγωγούς κυκλικής και παραβολικής διατομής. Το προγράμματα είναι απλά, εύκολα στη χρήση, προσιτά σε ευρύ φάσμα ερευνητών και μπορεί να ενσωματωθούν ως υπορουτίνες σε μεγάλα λογισμικά πακέτα υπολογισμών υδραυλικών δικτύων.

STEADY UNIFORM FLOW IN CIRCULAR OR PARABOLIC OPEN CHANNELS

M. Theocharis
Technical Educational Institution of Epirus, Department of Crop Production, Laboratory of Irrigation and Drainage, 47100 Arta, Greece , e-mail: theoxar@teiep.gr

ABSTRACT

The variables of the problem of steady uniform flow in open channels of circular or parabolic cross-section are the flow depth, the discharge, the factor of roughness and the hydraulic slope. Moreover the pipe diameter is a variable in circular open channels, whereas the width of free surface is a variable in parabolic open channels. Between of all the suggested calculation methods, the Manning's formula is the prevailed one which, however, is a complex function of a lot of variables; its solution is very time consuming and calls for a lot of calculations. In this paper two Visual Basic programs for the study of uniform flow in circular or parabolic channels developed, which are approachable to a wide range of researchers and therefore can be applied as a subroutine in computational programs of hydraulic networks.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

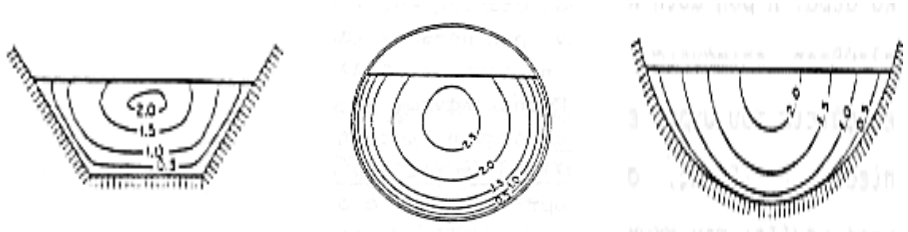
Γενικά διακρίνονται δύο είδη ανοικτών αγωγών, οι *τεχνητοί αγωγοί* και οι *φυσικοί αγωγοί,* ανάλογα με την αρχική τους διαμόρφωση. Οι φυσικοί ανοικτοί αγωγοί έχουν συνήθως διάφορες διατομές, με ακανόνιστα σχήματα και μεγάλη ποικιλία τραχύτητας στα τοιχώματα τους. Οι τεχνητοί αγωγοί επίσης έχουν διάφορες διατομές, αλλά εξαιτίας της κατασκευής τους από τον άνθρωπο, είναι γνωστής γεωμετρίας και υλικών κατασκευής και η ποικιλία της τραχύτητας είναι μικρότερη. Οι τεχνητοί αγωγοί ονομάζονται *πρισματικοί* όταν η διατομή και η κλίση του πυθμένα τους είναι σταθερές. Οι πρισματικοί αγωγοί ονομάζονται *ορθογωνικοί, τραπεζοειδείς, τριγωνικοί, ημικυκλικοί, παραβολικοί* κ.λπ., ανάλογα με το γεωμετρικό σχήμα της διατομής τους [1].

2. ΕΙΔΗ ΡΟΗΣ

Η ροή σε ανοιχτούς αγωγούς μπορεί να χωριστεί σε πολλά είδη και να περιγραφεί με διαφόρους τρόπους. Έτσι με βάση τη μεταβολή των διαφόρων παραμέτρων της ροής σε σχέση με το χώρο και το χρόνο η ροή διακρίνεται σε α. Στρωτή και τυρβώδη ροή β. Υποκρίσιμη, υπερκρίσιμη, και κρίσιμη ροή γ. Σταθερή και ασταθή ροή δ. Ομοιόμορφη και ανομοιόμορφη ροή ή ε. Αστρόβιλη και στροβιλώδη ροή [2],[3].

Η πλειονότητα των ροών στους ανοικτούς αγωγούς είναι τυρβώδεις και στην πράξη αντιμετωπίζονται στα μεν ευθύγραμμα τμήματα μεγάλου μήκους ως μόνιμες ομοιόμορφες ροές στα δε σημεία μεμονωμένων κατασκευών, ως μόνιμες ανομοιόμορφες ροές. Οι συνήθεις διατομές, με τις οποίες κατασκευάζονται οι τεχνητοί αγωγοί, είναι η τραπεζοειδής (της οποίας ειδική περίπτωση αποτελούν η ορθογωνική και η τριγωνική διατομή), η κυκλική, η παραβολική και σπανιότερα η πεταλοειδής και η ωοειδής.

Η κατανομή της ταχύτητας στους ανοικτούς αγωγούς και για τυρβώδη ροή εξαρτάται από πολλούς παράγοντες οι σπουδαιότεροι από τους οποίους είναι το ιξώδες, το σχήμα και η τραχύτητα των τοιχωμάτων και τα δευτερεύοντα ρεύματα που συνήθως παρουσιάζονται σε όλους τους τύπους των ανοικτών αγωγών. Γενικά η ταχύτητα έχει μηδενική τιμή πάνω στα τοιχώματα του αγωγού και αυξάνει κατά μη γραμμικό τρόπο με την απόσταση παίρνοντας τη μέγιστη τιμή λίγο κάτω από την ελεύθερη επιφάνεια. Το σχήμα 1 δείχνει την κατανομή της ταχύτητας για τις περιπτώσεις αγωγών τραπεζοειδούς, κυκλικής και παραβολικής διατομής [4].



Σχήμα 1. Κατανομή ταχύτητας σε ανοικτούς αγωγούς για τυρβώδη ροή

3. ΤΥΠΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΤΗΣ ΜΟΝΙΜΗΣ ΟΜΟΙΟΜΟΡΦΗΣ ΡΟΗΣ ΣΕ ΑΝΟΙΚΤΟΥΣ ΑΓΩΓΟΥΣ

Οι χρησιμοποιούμενοι τύποι υπολογισμού της μόνιμης ομοιόμορφης ροής σε ανοικτούς αγωγούς βασίζονται στον τύπο του Chezy [5]:

$$V = C\sqrt{RJ} \tag{1}$$

όπου V είναι η μέση ταχύτητα ροής σε m/s, C είναι συντελεστής τραχύτητας σε $m^{1/2}/s$, J είναι η κλίση της γραμμής ενεργείας και R είναι η υδραυλική ακτίνα σε m. Από όλες εκφράσεις που προτάθηκαν για τον υπολογισμό του C , [2] [5], [6], [7], [8], [9], επικρατέστερη είναι η εξίσωση των Manning - Strickler:

$$C = \frac{1}{n} R^{1/6} \tag{2}$$

Επομένως η σχέση των Manning – Strickler παίρνει τη μορφή:

$$V = \frac{1}{n} J^{1/2} R^{2/3} \tag{3}$$

Για τις λείες επιφάνειες, επειδή ο συντελεστής του Chezy δεν είναι σταθερός αλλά εξαρτάται από τον αριθμό του Reynolds, πρέπει να χρησιμοποιείται ή εξίσωση των Darcy-Weisbach αντί της εξίσωσης των Manning - Strickler.

4. ΕΠΙΛΥΣΗ ΤΩΝ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ ΣΕ ΑΓΩΓΟΥΣ ΚΥΚΛΙΚΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΒΟΛΙΚΗΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ

Η επίλυση των προβλημάτων της μόνιμης ομοιόμορφης ροής των ασυμπίεστων ρευστών απαιτεί την ταυτόχρονη λύση της εξίσωσης συνεχείας και της εξίσωσης κινήσεως του Manning [1] [2], [3], [5].

4.1 Αγωγοί κυκλικής διατομής

Για την κυκλική διατομή του σχήματος 2 ισχύουν οι σχέσεις:

$$\varphi = 2\,\text{τοξσυν}\left(1-\frac{2y}{D}\right) \tag{4}$$

$$b = D\,\text{ημ}\,\text{τοξσυν}\left(1-\frac{2y}{D}\right) \tag{5}$$

$$E = \frac{D^2}{4}\,\text{τοξσυν}\left(1-\frac{2y}{D}\right)+\frac{D}{2}\left(y-\frac{D}{2}\right)\text{ημ}\,\text{τοξσυν}\left(1-\frac{2y}{D}\right) \tag{6}$$

$$\Pi = D\,\text{τοξσυν}\left(1-\frac{2y}{D}\right) \tag{7}$$

Επομένως η εξίσωση του Manning παίρνει τη μορφή:

$$Q = \frac{E}{n} J^{1/2}\left(\frac{E}{\Pi}\right)^{2/3} = \frac{1}{n} J^{1/2} \frac{\left[\frac{D^2}{4}\,\text{τοξσυν}(1-\frac{2y}{D})+\frac{D}{2}(y-\frac{D}{2})\,\text{ημτοξσυν}(1-\frac{2y}{D})\right]^{5/3}}{\left(D\,\text{τοξσυν}(1-\frac{2y}{D})\right)^{2/3}} \tag{8}$$

4.2 Αγωγοί παραβολικής διατομής

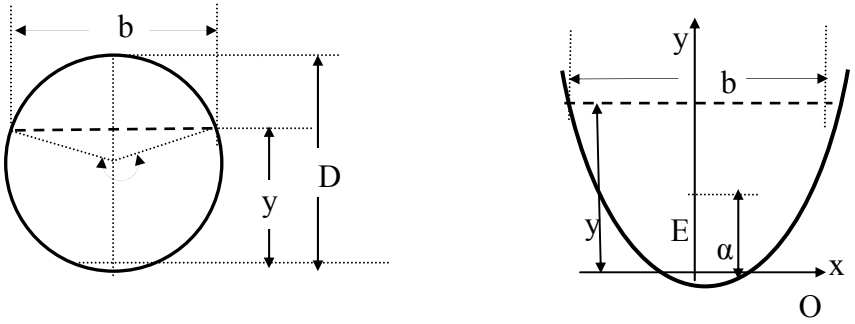
Για την παραβολική διατομή του σχήματος 2 η εξίσωση της παραβολής είναι:

$$(x-x_0)^2 = 4\alpha\,(y-y_0) \tag{9}$$

Είναι $(x_0, y_0) = (0, 0)$. Άρα $x^2 = 4\alpha y \Rightarrow y = \frac{1}{4\alpha} x^2$ (10)

όπου α είναι η απόσταση της εστίας, E, από την κορυφή, O, της παραβολής. Η ποσότητα $p = 2\alpha$ ονομάζεται παράμετρος της παραβολής.

Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της διατομής, μπορούν να υπολογιστούν ως συνάρτηση των δύο από τις τρεις μεταβλητές α, b και y από τις σχέσεις:



Σχήμα 2. Γεωμετρικά χαρακτηριστικά κυκλικών και παραβολικών διατομών

$$E = \frac{2}{3} by = \frac{8}{3} \alpha^{1/2}\, y^{3/2} = \frac{b^3}{24\alpha} \quad (11)$$

$$\Pi = b + \frac{8}{3}\frac{y^2}{b} = b + \frac{b^3}{96\,\alpha^2} = 2\sqrt{y}\,\frac{6\alpha + y}{3\sqrt{\alpha}} \quad (12)$$

Επομένως η εξίσωση του Manning παίρνει τη μορφή:

$$\frac{Q}{E} = \frac{1}{n} J^{1/2} \left(\frac{E}{\Pi}\right)^{2/3} \Rightarrow Q = \frac{2}{3n} J^{1/2} \left[\frac{2b^{7/2} y^{5/2}}{3b^2 + 8y^2}\right]^{2/3} \quad (13)$$

Και στις δύο περιπτώσεις διατομών οι μεταβλητές του προβλήματος είναι το μέσο βάθος ροής, y, η παροχή του αγωγού, Q, ο συντελεστής του Manning, n, και η κατά μήκος κλίση του αγωγού, J. Επιπλέον, για μεν την κυκλική διατομή είναι και η διάμετρος του αγωγού, D, για δε για την παραβολική διατομή είναι και το πλάτος της ελεύθερης επιφάνειας, b.

5. ΕΠΙΛΥΣΗ ΤΩΝ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ ΜΕ ΤΗ ΒΟΗΘΕΙΑ Η/Υ

Αναπτύσσονται στη συνέχεια δύο προγράμματα σε Microsoft Visual Basic τα οποία είναι απλά, εύκολα στη χρήση, προσιτά σε ευρύ φάσμα ερευνητών και μπορούν να ενσωματωθούν ως υπορουτίνες σε μεγάλα λογισμικά πακέτα υπολογισμών υδραυλικών δικτύων.

5.1 Αγωγοί κυκλικής διατομής

5.1.1. Εισαγωγή δεδομένων

Στα κελιά D6 έως D10 ενός λογιστικού φύλλου εισάγονται τα μεγέθη y, D, Q, n και J αντίστοιχα. Στο κελί που αφορά το άγνωστο μέγεθος εισάγεται το σημείο, ; , και στα υπόλοιπα οι τιμές των γνωστών δεδομένων. Στο κελί D12 εισάγεται η εξίσωση

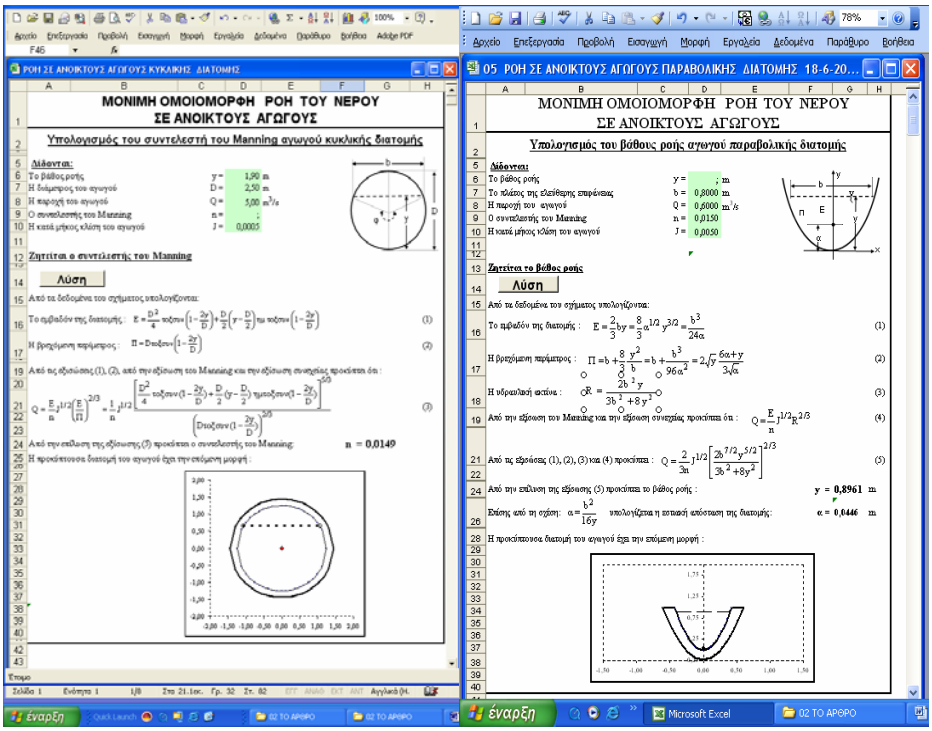
του Manning, (εξ.8): =(if(d8=";";g24;d8))-(1/(if(d9=";";g24;d9)))*(if(d10=";";g24^(1/2)
;d10^(1/2)))*((if(d6=";";((d7^2)/4)*acos(1-(2*g24/d7))+(d7/2)*(g24-(d7/2))*sin(acos(1
-(2*g24/d7)));if(d7=";";((g24^2)/4)*acos(1-(2*d6/g24))+(g24/2)*(d6-(g24/2))*sin (acos
(1-(2*d6/g24)));((d7^2)/4)*acos(1-(2*d6/d7))+(d7/2)*(d6-(d7/2))*sin(acos(1-(2*d6/d7)
)))))^(5/3))/(if(d7=";";g24*acos(1-2*d6/g24);d7* acos(1-2*d6/d7))^(2/3)).

5.1.2. Επίλυση του προβλήματος

Για την επίλυση του προβλήματος αναπτύσσεται η μακροεντολή :

```
Sub Μακροεντολή1 ()
'Μόνιμη ομοιόμορφη ροή σε ανοικτούς αγωγούς κυκλικής διατομής
'Καταγραφή μακροεντολής 15/6/2007 από Μενέλαο Θεοχάρη
If Range ("d6") = ";" Then
Range ("a2").Cells = "Υπολογισμός του βάθους ροής αγωγού κυκλικής διατομής"
Range ("d12").GoalSeek Goal:=0, Changing Cell:=Range("g24")
Range ("g24").Select
Range ("a12").Cells = "Ζητείται το βάθος ροής"
Range ("a7").Cells = "Η διάμετρος του αγωγού"
Range ("a8").Cells = "Η παροχή του αγωγού"
Range ("a9").Cells = "Ο συντελεστής του Manning"
Range ("a10").Cells = "Η κατά μήκος κλίση του αγωγού"
Range ("a24").Cells = "Από την επίλυση της εξίσωσης (5) προκύπτει το βάθος ροής :"
Range ("f24").Cells = "y  ="
Range ("h24").Cells = "m"
Else If Range ("d7") = ";" Then
Range ("a2").Cells = "Υπολογισμός της διαμέτρου αγωγού κυκλικής διατομής"
Range ("d12").GoalSeek Goal:=0, Changing Cell:=Range("g24")
Range ("g24").Select
Range ("a12").Cells = "Ζητείται η διάμετρος του αγωγού"
Range ("a24").Cells = "Από την επίλυση της εξίσωσης (5) προκύπτει η διάμετρος του
αγωγού: "
Range ("f24").Cells = "D  ="
Range ("h24").Cells = "m"
Else If Range ("d8") = ";" Then
Range ("a2").Cells = "Υπολογισμός της παροχής αγωγού κυκλικής διατομής"
Range ("d12").GoalSeek Goal:=0, Changing Cell:=Range("g24")
Range ("g24").Select
Range ("a12").Cells = "Ζητείται η παροχή του αγωγού"
Range ("a24").Cells ="Από την επίλυση της εξίσωσης (5) προκύπτει η παροχή του
αγωγού:"
Range ("f24").Cells = "Q  ="
Range ("h24").Cells = "m3/s"
Else If Range ("d9") = ";" Then
Range ("a2").Cells = "Υπολογισμός του συντελεστή του Manning αγωγού κυκλικής
διατομής"
Range ("d12").GoalSeek Goal:=0, Changing Cell:=Range("g24")
Range ("g24").Select
Range ("a12").Cells = "Ζητείται ο συντελεστής του Manning"
Range ("a24").Cells = "Από την επίλυση της εξίσωσης (5) προκύπτει ο συντελεστής
του Manning: "
```

```
Range ("f24").Cells = " n  ="
Range ("h24").Cells = ""
Else If Range ("d10") = ";" Then
Range ("a2").Cells = "Υπολογισμός της κατά μήκος κλίσης αγωγού κυκλικής διατομής"
Range ("d12").GoalSeek Goal:=0, Changing Cell:=Range("g24")
Range ("g24").Select
Range ("a12").Cells = "Ζητείται η κατά μήκος κλίση του αγωγού"
Range ("a24").Cells = "Από την επίλυση της εξίσωσης (5) προκύπτει η κατά μήκος
κλίση του αγωγού:"
Range ("f24").Cells = " J  ="
Range ("h24").Cells = ""
Else
Range ("g24").Cells = "1000"
End If
End Sub
```



Σχήμα 3. Υπολογιστικό φύλλο για τον προσδιορισμό του βάθους ροής

Στη συνέχεια πατώντας το πλήκτρο "**Λύση**" προκύπτει η λύση του προβλήματος. Στο σχήμα 3 φαίνεται η όλη διαδικασία για την περίπτωση υπολογισμού του βάθους ροής.

5.2 Αγωγοί παραβολικής διατομής

5.2.1. Εισαγωγή δεδομένων

Στα κελιά D6 έως D10 εισάγονται τα μεγέθη y, b, Q, n και J αντίστοιχα. Στο κελί που αφορά το άγνωστο μέγεθος εισάγεται το σημείο , ; , και στα υπόλοιπα οι τιμές των γνωστών δεδομένων. Στο κελί D12 εισάγεται η εξίσωση του Manning, (εξ.13):

=3/2*(if(d8=";";g24;d8))-(1/(if(d9=";";g24;d9)))*((if(d10=";";g24;d10))^(1/2))*(if(d6=";";(2*d7^(7/2)*g24^(5/2)/(3*d7^2+8*g24^2))^(2/3);if(d7=";";(2*g24^(7/2)*d6^(5/2)/(3*g24^2+8*d6^2))^(2/3);(2*d7^(7/2)*d6^(5/2)/(3*d7^2+8*d6^2))^(2/3)))).

5.2.2. Επίλυση του προβλήματος

Για την επίλυση του προβλήματος αναπτύσσεται η μακροεντολή :

```
Sub Μακροεντολή 2()
'Μόνιμη ομοιόμορφη ροή σε ανοικτούς αγωγούς παραβολικής διατομής
'Καταγραφή μακροεντολής 16/6/2007 από Μενέλαο Θεοχάρη
If Range("d6") = ";" Then
Range("a2").Cells = "Υπολογισμός του βάθους ροής αγωγού παραβολικής διατομής"
Range ("d12").GoalSeek Goal:=0, Changing Cell:=Range("g24")
Range ("g24").Select
Range ("a13").Cells = "Ζητείται το βάθος ροής"
Range("a7").Cells = "Το πλάτος της ελεύθερης επιφάνειας"
Range("a8").Cells = "Η παροχή του  αγωγού"
Range("a9").Cells = "Ο συντελεστής του Manning"
Range("a10").Cells = "Η κατά μήκος κλίση του αγωγού"
Range("a24").Cells = "Από την επίλυση της εξίσωσης (5) προκύπτει το βάθος ροής :"
Range ("f24").Cells = "y  ="
Range ("h24").Cells = "m"
ElseIf Range ("d7") = ";" Then
Range("a2").Cells = "Υπολογισμός του πλάτους της ελεύθερης επιφάνειας αγωγού παραβολικής διατομής"
Range ("d12").GoalSeek Goal:=0, Changing Cell:=Range("g24")
Range("g24").Select
Range("a13").Cells = "Ζητείται το πλάτος της ελεύθερης επιφάνειας"
Range("a24").Cells = "Από την επίλυση της εξίσωσης (5) προκύπτει το πλάτος της ελεύθερης επιφάνειας : "
Range ("f24").Cells = "b  ="
Range ("h24").Cells = "m"
ElseIf Range("d8") = ";" Then
Range("a2").Cells = "Υπολογισμός της παροχής αγωγού παραβολικής διατομής"
Range ("d12").GoalSeek Goal:=0, Changing Cell:=Range("g24")
Range("g24").Select
Range("a13").Cells = "Ζητείται η παροχή του αγωγού"
Range("a24").Cells ="Από την επίλυση της εξίσωσης (5) προκύπτει η παροχή του αγωγού:"
Range ("f24").Cells = " Q  ="
Range ("h24").Cells = "m3/s"
ElseIf Range("d9") = ";" Then
Range("a2").Cells = "Υπολογισμός του συντελεστή του Manning αγωγού παραβολικής διατομής"
Range ("d12").GoalSeek Goal:=0, Changing Cell:=Range("g24")
Range ("g24").Select
Range ("a13").Cells = "Ζητείται ο συντελεστής του Manning"
Range("a24").Cells = "Από την επίλυση της εξίσωσης (5) προκύπτει ο συντελεστής του Manning :"
Range ("f24").Cells = " n  ="
Range ("h24").Cells = ""
```

```
ElseIf Range("d10") = ";" Then
Range("a2").Cells = "Υπολογισμός της κατά μήκος κλίσης αγωγού παραβολικής διατομής"
Range ("d12").GoalSeek Goal:=0, Changing Cell:=Range("g24")
Range("g24").Select
Range("a13").Cells = "Ζητείται η κατά μήκος κλίση του αγωγού"
Range("a24").Cells = "Από την επίλυση της εξίσωσης (5) προκύπτει η κατά μήκος κλίση του αγωγού :"
Range ("f24").Cells = " J  ="
Range ("h24").Cells = ""
Else
Range ("g24").Cells = "1000"
End If
End Sub
```

Στη συνέχεια πατώντας το πλήκτρο "Λύση" προκύπτει η λύση του προβλήματος. . Στο σχήμα 3 φαίνεται η όλη διαδικασία για την περίπτωση υπολογισμού του βάθους ροής.

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Οι συνηθέστεροι τρόποι υπολογισμού της μόνιμης ομοιόμορφης ροής σε ανοικτούς αγωγούς βασίζονται στον τύπο του Chezy και προτάθηκαν από τους Darcy-Weisbach, τον Manning, τον Bazin, τους Kutter-Ganguillet, τον Kutter και τον Powell. Από αυτούς επικρατέστερος είναι ο υπολογισμός με την εξίσωση του R. Manning.

Στην περίπτωση των κυκλικών και παραβολικών αγωγών οι μεταβλητές του προβλήματος είναι το μέσο βάθος ροής, y, η παροχή του αγωγού, Q, ο συντελεστής του Manning, n, και η κατά μήκος κλίση του αγωγού, J. Επιπλέον, για μεν την κυκλική διατομή είναι και η διάμετρος του αγωγού, D, για δε για την παραβολική διατομή είναι και το πλάτος της ελεύθερης επιφάνειας, b.

Η δυσκολία στην επίλυση των προβλημάτων οφείλεται στο ότι η εξίσωση του Manning είναι πεπλεγμένη συνάρτηση των γεωμετρικών στοιχείων της διατομής με αποτέλεσμα η επίλυσή της να απαιτεί πολλές και κοπιαστικές πράξεις με συνέπεια να είναι αναπόφευκτη η χρήση Η/Υ.

Τα προγράμματα επίλυσης των προβλημάτων ροής, που αναπτύχθηκαν στην παρούσα μελέτη, είναι απλά στη χρήση, δεν απαιτούν εξειδικευμένες γνώσεις πληροφορικής, είναι προσιτά σε ευρύ φάσμα ερευνητών και να μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην καθημερινή πράξη. Επίσης μπορούν να ενσωματωθούν ως υπορουτίνες σε άλλα λογισμικά πακέτα υπολογισμών υδραυλικών δικτύων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Τερζίδης, Γ., 1982. *Μαθήματα Υδραυλικής, 3. Ανοικτοί Αγωγοί*, Εκδώσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη.
2. Θεοχάρης, Μ., 2007. Μόνιμη ομοιόμορφη ροή σε ανοικτούς αγωγούς τραπεζοειδούς διατομής, *Πρακτ .5ου Πανελλ. Συν. Γεωργ. Μηχαν.,* Λάρισα 18-20 Οκτ. 2007.
3. Ξανθουλέας, Α. Σ., 1985. *Πίνακες υπολογισμού ομοιόμορφης ροής σε αγωγούς ελεύθερης ροής.*, Τεχνικά Χρονικά , Τεύχη 10-12/1985, Αθήνα.
4. Δημητρακόπουλος, Α. Κ., και Χατζηθεοδώρου, Χ., 1992. *Στοιχεία Υδραυλικής*, Εκδόσεις Παν/μίου Πατρών, Πάτρα.
5. Αργυπόπουλος, Π. Α., 1962. *Θεωρητική και Εφηρμοσμένη Υδραυλική*, Οίκος Τεχνικών Εκδόσεων Αφων Ι. Λιόντη, Πειραιεύς.

6. Manning, R., 1890. *Flow of water in open channels and pipes,* Trans. Inst. of Civil Eng. of Ireland, Vol. 20.
7. Bazin, H., 1869. *Etude d'une non elle tormule pour calculer le débit des canaux déwnverts*, Mémoire No 41, Annales des ponts et chamllées, Vol. 14.
8. Ganguillet, E. and Kutter, W. R., 1869. Versuch *zur Aufstellung einer neuen allgemeinen Formel für die gleichförmige Bewegung des Wassers in Kanälen und Flüssen,* Zeitschrift des Österreichischen Ingenieur – und Architekten Vereines, Vol. 21, No 1,2,3, Vienna
9. Powell, R, W., and Posey, C. J., 1959. *Resistance Experiments in a Triangular Channel*, Prc. ASCE, Hydraulics Division, May 1959, p. 45.

(192)

ΤΕΧΝΗΤΗ ΕΠΑΝΑΠΛΗΡΩΣΗ ΦΡΕΑΤΙΚΩΝ ΥΔΡΟΦΟΡΕΩΝ ΜΕ ΦΡΕΑΤΙΑ ΣΤΑΘΕΡΗΣ ΠΑΡΟΧΗΣ

Δ.Ν. Καραμούζης και Π.Ε. Γεωργίου*
Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Γεωπονική Σχολή, 54124 Θεσσαλονίκη
*e-mail: pantaz@agro.auth.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εργασία αυτή μελετάται η διαδικασία της τεχνητής επαναπλήρωσης των ελεύθερων ή φρεατικών υδροφορέων με επιφανειακά νερά μέσα από ειδικά κατασκευασμένα φρεάτια επαναπλήρωσης, στα οποία παροχετεύεται μια σταθερή παροχή. Με τη σχέση κίνησης των υπόγειων νερών στους φρεατικούς υδροφορείς σε ένα κυλινδρικό σύστημα συντεταγμένων, την αρχική και τις οριακές συνθήκες γίνεται η εξαγωγή των αναλυτικών λύσεων για την επαναπλήρωση στους υδροφορείς αυτούς με φρεάτια, καθώς και με συστάδα υδρογεωτρήσεων ώστε να καταστεί δυνατή η βιώσιμη διαχείριση των υδροφορέων. Επιπρόσθετα, δίνονται διάφορες εφαρμογές στις περιπτώσεις αυτές και υπολογίζονται οι απαιτούμενοι χρόνοι για δεδομένες πιεζομετρικές ανόδους στα διάφορα προβλήματα επαναπλήρωσης.

GROUNDWATER ARTIFICIAL RECHARGE IN FREATIC AQUIFERS WITH CONSTANT RECHARGE

D.N. Karamouzis and P.E. Georgiou*
Aristotle University of Thessaloniki, Faculty of Agriculture, 54124 Thessaloniki
*e-mail: pantaz@agro.auth.gr

ABSTRACT

In this paper the process of groundwater artificial recharge of freatic aquifers with surface water through a well with constant recharge is studied. Based on the equation of groundwater flow in a cylindrical coordinate system, on the initial and the boundary conditions, analytical solutions are obtained for the recharge of these aquifers, using a single well or a cluster of wells, thus contributing to sustainable management of aquifers. Furthermore, specific numerical examples for each case are given and the time required for specific piezometric head elevation is calculated.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ένα υδροφόρο στρώμα λέγεται ελεύθερος ή φρεατικός υδροφορέας, αν επικάθεται πάνω σε αδιαπέρατο υπόστρωμα και το υπόγειο νερό του σχηματίζει ελεύθερη υπόγεια στάθμη, κάτω από ατμοσφαιρική πίεση, η οποία αποτελεί την πάνω επιφάνεια της ζώνης κορεσμού. Η υπόγεια στάθμη σ' έναν ελεύθερο υδροφορέα μπορεί να είναι οριζόντια ή να έχει μία κλίση ως προς το οριζόντιο επίπεδο σε περιοχές όπου γίνεται άντληση ή λαμβάνει χώρα εισροή ή εκροή. Οι υδρογεωλογικές σταθερές ή παράμετροι που χαρακτηρίζουν έναν ελεύθερο υδροφορέα είναι ο συντελεστής υδραυλικής αγωγιμότητάς του K, ο οποίος έχει διαστάσεις ταχύτητας [LT^{-1}] και η ειδική απόδοσή του σε νερό S_y, η οποία είναι αδιάστατη και έχει τάξη μεγέθους 10^{-1} ως 10^{-2}.

Όπως αποδείχθηκε [1] από τη γενική μερική διαφορική εξίσωση εξάγεται η γενική σχέση κίνησης των υπόγειων νερών που ισχύει για όλα τα είδη υδροφορέων σε ένα κυλινδρικό σύστημα συντεταγμένων. Η σχέση αυτή σε ελεύθερους ή φρεατικούς υδροφορείς, με τις παραδοχές της αξονικής συμμετρίας, της μικρής κλίσης του πιεζομετρικού φορτίου, της μηδενικής εισόδου από άρδευση ή βροχόπτωση, του σταθερού K και με τη βοήθεια του νόμου του Darcy, γίνεται:

$$\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(rh\frac{\partial h}{\partial r}\right)=\frac{S_y}{K}\frac{\partial h}{\partial t} \tag{1}$$

η οποία μπορεί να γραφεί

$$\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(r\frac{\partial h^2}{\partial r}\right)=\frac{S_y}{KB}\frac{\partial h^2}{\partial t} \tag{2}$$

όπου B είναι ένα μέσο πάχος του υδροφορέα στο οποίο λαμβάνει χώρα η υπόγεια ροή.

Στην εξίσωση αυτή, r,t είναι η αξονική και η χρονική συντεταγμένη αντίστοιχα και h είναι το πιεζομετρικό φορτίο ή φορτίο του υπόγειου νερού. Το πρόβλημα της τεχνητής επαναπλήρωσης των υπόγειων νερών ή του τεχνητού εμπλουτισμού των υδροφορέων έχει πολύ μεγάλη οικονομική και περιβαλλοντική σημασία και έχουν ασχοληθεί εκτεταμένα πολλοί ερευνητές [2,3,4]. Η εφαρμογή της επαναπλήρωσης μπορεί να γίνει είτε σε ειδικά διαμορφωμένο σύστημα λεκανών κατάκλυσης, είτε σε ειδικά διανοιγμένα φρεάτια επαναπλήρωσης.

2. ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΚΑΙ ΛΥΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

Στη συνέχεια της παραγράφου αυτής λύνεται το πρόβλημα της επαναπλήρωσης των φρεατικών υδροφορέων, χρησιμοποιώντας φρεάτια επαναπλήρωσης. Υποθέτουμε ένα φρεάτιο επαναπλήρωσης, που διαπερνά ολόκληρο το πάχος του υδροφορέα, ο οποίος είναι μεγάλης οριζόντιας έκτασης ($r\to\infty$), εδράζεται σε ένα οριζόντιο αδιαπέρατο υπόστρωμα και ότι στην αρχή η ελεύθερη υπόγεια στάθμη του νερού είναι οριζόντια. Το υδροφόρο στρώμα θεωρείται ότι είναι ομογενές και ισότροπο με σταθερές την υδραυλική αγωγιμότητα K και το συντελεστή ειδικής απόδοσης του υδροφορέα S_y. Το υπόγειο νερό μέσα στο υδροφόρο στρώμα βρίσκεται αρχικά κάτω από ένα σταθερό πιεζομετρικό φορτίο h_o. Σε κάποια χρονική στιγμή μπαίνει σε λειτουργία η αντλία τροφοδοσίας του φρεατίου. Παραδεχόμαστε ότι αμέσως με τη λειτουργία της αντλίας αρχίζει και η κίνηση του νερού από το φρεάτιο προς τον υδροφορέα, η οποία είναι ακτινική και ασταθής ή μη μόνιμη.

Για καθαρά τεχνικούς λόγους, η τροφοδοσία του φρεατίου επαναπλήρωσης γίνεται με μια σταθερή παροχή Q_o. Η τιμή της παροχής αυτής πρέπει, σε όλη τη διάρκεια της διενέργειας της επαναπλήρωσης, να είναι τέτοια ώστε να εξασφαλιστεί η ικανοποιητική τροφοδοσία και η μη υπερβολική άνοδος του νερού στο φρεάτιο επαναπλήρωσης. Έτσι,

θα αποφευχθεί η απώλεια νερού, η οποία λαμβάνει χώρα σ' αυτές τις περιπτώσεις, καθώς το νερό πολλές φορές ξεχειλίζει από το φρεάτιο και πλημμυρίζει την γύρω επιφάνεια του εδάφους.

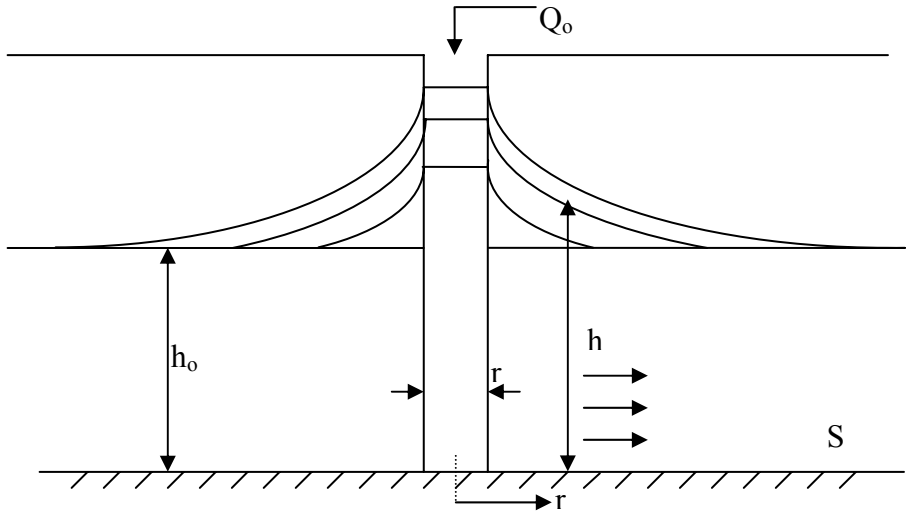
Το φυσικό αυτό πρόβλημα, με τη βοήθεια και του Σχήματος 1 περιγράφεται μαθηματικά από τη διαφορική εξίσωση (1) μία αρχική και δύο οριακές συνθήκες, οι οποίες είναι [5]:

$$h(r,0) = h_0 \qquad \text{για } t=0 \tag{3}$$

$$\lim_{r\to\infty}\left[h(r,t)\right] = h_0 \text{ , για } t>0 \tag{4}$$

και

$$\lim_{r\to r_w}\left(rh\frac{dh}{dr}\right) = -\frac{Q_o}{2\pi K} \tag{5}$$



Σχήμα 1. Επαναπλήρωση φρεατικού υδροφορέα σε φρεάτιο με σταθερή παροχή.

Εισάγοντας τις αδιάστατες μεταβλητές:

$$H(R,\tau) = \frac{h^2(r,t)}{h_0^2}, \qquad R = \frac{r}{h_0}, \qquad \tau = \frac{KBt}{S_y h_0^2} \tag{6α,β,γ}$$

το πρόβλημα των εξισώσεων (2), (3), (4) και (5) γράφεται:

$$\frac{1}{R}\frac{\partial}{\partial R}\left(R\frac{\partial H}{\partial R}\right) = \frac{\partial H}{\partial \tau} \tag{7}$$

$$H(R,0) = 1 \tag{8}$$

$$H(\infty,\tau) = 1 \tag{9}$$

$$\lim\left(R\frac{\partial H}{\partial r}\right) = -\frac{Q_o}{2\pi K h_0^2} \tag{10}$$

Η λύση του προβλήματος αυτού είναι:

$$H(R,\tau) = 1 + \frac{Q_o}{2\pi K h_0^2} W(u) \tag{11}$$

η οποία με αντικατάσταση της σχέσης (6α) γίνεται:

$$h^2(r,t) = h_0^2 + \frac{Q_o}{2\pi K} W(u) \tag{12}$$

Στην σχέση αυτή u(R,τ)=u(r,t) είναι η μεταβλητή ομοιότητας, η οποία δίνεται από τη σχέση:

$$u = \frac{r^2 S_y}{4KBt} = \frac{R^2}{4\tau} \tag{13}$$

όπου W(u) είναι η συνάρτηση φρεατίου του Theis, η οποία είναι γνωστή [6,7,8].
Όταν είναι u<0.01, δηλαδή σε μια σχετικά μικρή απόσταση από την υδρογεώτρηση και για μεγάλους χρόνους, η συνάρτηση W(u) προσεγγίζεται μόνο από τους δύο πρώτους όρους της, οπότε με την εκτέλεση των απαραίτητων πράξεων η λύση (12) γίνεται:

$$h^2(r,t) = h_0^2 + \frac{2.3Q_o}{2\pi K} \log \frac{2.25KBt}{r^2 S_y} \tag{14}$$

Η σχέση (14) χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της τιμής του πιεζομετρικού φορτίου h(r,t) σε μια απόσταση r από το φρεάτιο επαναπλήρωσης, σε ένα χρόνο t, μετά την έναρξη της διαδικασίας επαναπλήρωσης, για μεγάλους χρόνους, ώστε να ικανοποιείται η συνθήκη u<0.01.

3. ΕΠΑΝΑΠΛΗΡΩΣΗ ΣΕ ΣΥΣΤΑΔΑ ΥΔΡΟΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ

Εισάγοντας στη λύση (14) την πιεζομετρική άνοδο, η οποία ορίζεται από τη σχέση: $s(r,t)=h(r,t)-h_0$, λαμβάνεται:

$$s(r,t) = \frac{Q_o}{2\pi K(h + h_0)} \ln \frac{2.25KBt}{r^2 S_y} \tag{15}$$

Η σχέση (15) συνεχίζει να είναι μη γραμμική εξαιτίας του πιεζομετρικού φορτίου h που υπάρχει στον παρονομαστή του δεξιού μέλους της. Εισάγοντας στη θέση του ένα μέσο φορτίο $\bar{h} = B$, η παραπάνω σχέση γραμμικοποιείται και γράφεται:

$$s(r,t) = \frac{Q_o}{2\pi K(B + h_0)} \ln \frac{2.25KBt}{r^2 S_y} \tag{16}$$

Λύνοντας ως προς t την παραπάνω σχέση παίρνεται:

$$t = \frac{r^2 S_y}{2.25KB} \exp\left[\frac{2\pi K}{Q_o}(B + h_0) s_\tau\right] \tag{17}$$

Η σχέση (17) δίνει το χρόνο επαναπλήρωσης όταν χρησιμοποιείται μόνο ένα φρεάτιο επαναπλήρωσης.

Στην περίπτωση που η επαναπλήρωση γίνεται σε N φρεάτια, τα οποία απέχουν από ένα σημείο P αποστάσεις $r_1, r_2, r_3, \ldots, r_N$, με τη βοήθεια της σχέσης (16) προκύπτει ότι η συνολική πιεζομετρική άνοδος είναι: $s_\tau=s_1+s_2+s_3+\ldots+s_N$ οπότε, με αντικατάσταση των αντίστοιχων επιμέρους λύσεων της μορφής (16), μπορεί να γραφεί:

$$s_\tau = \frac{NQ_o}{2\pi K(B + h_0)} \ln \frac{2.25KBt / S_y}{\sqrt[N]{r_1^2 \cdot r_2^2 \cdot \ldots \cdot r_N^2}} \tag{18}$$

Η σχέση αυτή δίνει την πιεζομετρική άνοδο όταν η επαναπλήρωση γίνεται ταυτόχρονα σε N φρεάτια. Λύνοντάς την ως προς το χρόνο t λαμβάνεται:

$$t = \frac{\sqrt[N]{r_1^2 \cdot r_2^2 \cdot \ldots \cdot r_N^2}}{2.25KB/S_y} \exp\frac{2\pi K(B+h_0)}{NQ_o} s_\tau \qquad (19)$$

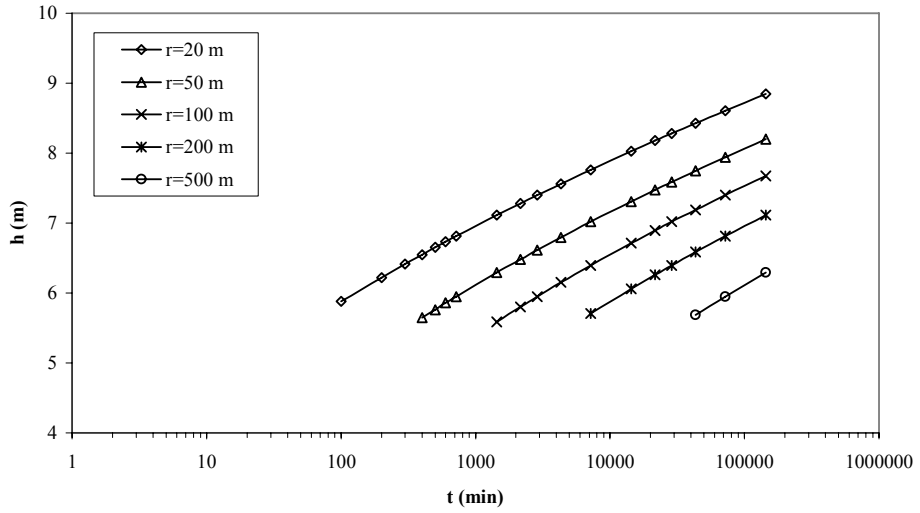
Η σχέση αυτή δίνει το χρόνο στον οποίο πρέπει να λάβει χώρα η επαναπλήρωση της συστάδας των υδρογεωτρήσεων, όταν εφαρμόζεται μια σταθερή παροχή Q_o σε κάθε φρεάτιο. Όταν στην περιοχή υπάρχει ένα μόνο φρεάτιο επαναπλήρωσης θα είναι N=1, οπότε η σχέση (19) δίνει τη σχέση (17). Υπενθυμίζεται ότι σε όλες τις παραπάνω σχέσεις αυτής της παραγράφου είναι $B = \bar{h} = h$.

4. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

4.1. Πιεζομετρική άνοδος από επαναπλήρωση σε φρεάτια

Ας θεωρηθεί ότι η επαναπλήρωση ενός φρεατικού υδροφορέα γίνεται για καθαρά τεχνικούς λόγους με σταθερή παροχή Q_o=3600 m^3/ημέρα και το αρχικό πιεζομετρικό φορτίο είναι h_0=5.5 m. Να υπολογιστεί το πιεζομετρικό φορτίο h σε πέντε διαφορετικές αποστάσεις r_1=20 m, r_2=50 m, r_3=100 m, r_4=200 m και r_5=500 m και για χρόνους επαναπλήρωσης 20, 30, 100, 200, 300, 400, 500 και 600 λεπτών και 0.5, 1, 1.5, 2, 3, 5, 10 20, 30, 50 και 100 ημερών.

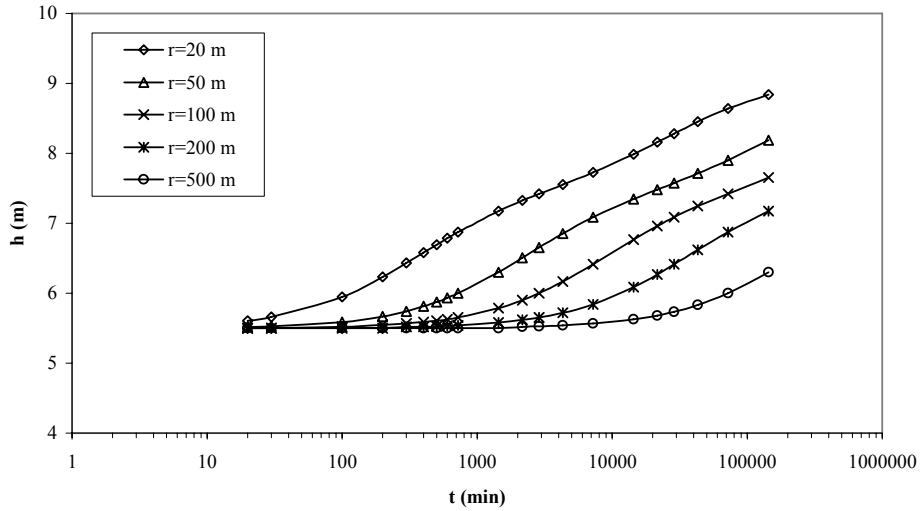
Για μικρές τιμές της απόστασης από την υδρογεώτρηση επαναπλήρωσης και για μεγάλες τιμές του χρόνου t, κατά τους οποίους ικανοποιείται η ανισότητα u<0.01, ισχύει η λύση (14). Εισάγοντας τις τιμές h_0=5.5m, Q_o=3600 m^3/ημέρα, K=95.17 m/ημέρα, S_y= 0.1 και B=5.5 m στη σχέση (14) υπολογίζεται το πιεζομετρικό φορτίο σε διαφορετικές αποστάσεις από το φρεάτιο επαναπλήρωσης σταθερής παροχής. Στο *Σχήμα 2* φαίνεται η μεταβολή του πιεζομετρικού φορτίου με το χρόνο αυτού του προβλήματος.



Σχήμα 2. Μεταβολή πιεζομετρικού φορτίου με το χρόνο για διαφορετικές αποστάσεις από φρεάτιο σταθερής παροχής με εφαρμογή της σχέσης (14).

Στη συνέχεια υπολογίζεται το πιεζομετρικό φορτίο χρησιμοποιώντας τη σχέση (12), όπου u(r,t) ορίζεται με τη σχέση (13) και W(u) είναι η συνάρτηση του Theis, η τιμή της οποίας λαμβάνεται από πίνακες για κάθε τιμή της μεταβλητής u. Εισάγοντας τις τιμές h_0=5.5m, Q_o=3600 m^3/ημέρα, K=95.17 m/ημέρα και της συνάρτησης W(u),

υπολογίζεται το πιεζομετρικό φορτίο σε διαφορετικές αποστάσεις από το φρεάτιο επαναπλήρωσης σταθερής παροχής. Στο *Σχήμα 3* φαίνεται η μεταβολή του πιεζομετρικού φορτίου με το χρόνο για διαφορετικές αποστάσεις από φρεάτιο σταθερής παροχής.



Σχήμα 3. Μεταβολή πιεζομετρικού φορτίου με το χρόνο για διαφορετικές αποστάσεις από φρεάτιο σταθερής παροχής με εφαρμογή της σχέσης (12).

Συμπερασματικά μπορεί να λεχθεί ότι η σχέση (14) όσον αφορά την επαναπλήρωση ενός φρεατικού υδροφορέα, μεγάλης οριζόντιας έκτασης, ομογενούς και ισότροπου, διατηρώντας σταθερή την παροχή επαναπλήρωσης στο φρεάτιο, μπορεί να εφαρμοσθεί για μικρές αποστάσεις από τη γεώτρηση και για μεγάλους χρόνους γιατί πρέπει να ισχύει ο περιορισμός $u<0.01$, ενώ η σχέση (12) μπορεί να εφαρμοσθεί χωρίς περιορισμούς, αλλά για να υπάρχουν αποτελέσματα πρέπει στις μεγάλες αποστάσεις από τη γεώτρηση να εφαρμόζονται μεγάλοι χρόνοι επαναπλήρωσης.

4.2. Πιεζομετρική άνοδος από επαναπλήρωση σε συστάδα υδρογεωτρήσεων

Στην εφαρμογή αυτή υπολογίζεται ο χρόνος όταν η επαναπλήρωση εφαρμόζεται σε μια συστάδα υδρογεωτρήσεων με σταθερή παροχή. Το υδροφόρο στρώμα θεωρείται το ίδιο, δηλαδή είναι ένας φρεατικός υδροφορέας υδραυλικής αγωγιμότητας K=95.17 m/ημέρα, ειδικής απόδοσης σε νερό S_y=0.1 και μεγάλης οριζόντιας έκτασης. Η επαναπλήρωση γίνεται και πάλι με σταθερή παροχή Q_o=3600 m^3/ημέρα και η ακτίνα των φρεατίων είναι r_w= 0.15 m. Θεωρείται ότι το αρχικό πιεζομετρικό φορτίο είναι h_0=5.5 m και σε κάποιο χρόνο t η συνολική πιεζομετρική άνοδος είναι s_τ=4 m. Επίσης, υπολογίζεται ο χρόνος που απαιτείται για άνοδο s_τ=2 m και επιπλέον υπολογίζεται ο χρόνος για s_τ=1.5 m στην περίπτωση των δύο υδρογεωτρήσεων επαναπλήρωσης.

Από τη σχέση (19) υπολογίζεται ο χρόνος στον οποίο πρέπει να λάβει χώρα η επαναπλήρωση της συστάδας των υδρογεωτρήσεων.

Εισάγοντας λοιπόν τις τιμές h_0=5.5m, Q_o=3600 m^3/ημέρα, K=95.17 m/ημέρα, S_y= 0.1 και $B=h+(s_\tau/2)$ στη σχέση (19) υπολογίζεται ο χρόνος επαναπλήρωσης στις εξής περιπτώσεις:

I. Περίπτωση δύο φρεατίων

Όταν τα φρεάτια ισαπέχουν από ένα σημείο Ρ απόσταση $r=r_1=r_2$, ο χρόνος επαναπλήρωσης θα είναι:

$$t = \frac{r^2}{2.25KB/S_y}\exp\frac{2\pi K(B+h_0)}{2Q_o}s_\tau \qquad (20)$$

Από την εξίσωση αυτή, εισάγοντας τα δεδομένα του υδροφορέα και για $r_1=r_2=125$ m, δίνει: t= 73.06 ημέρες για s_τ= 4 m, t= 8.24 ημέρες για s_τ= 2 m και t= 5.05 ημέρες για s_τ= 1.5 m.

II. Περίπτωση τριών φρεατίων

Όταν τα φρεάτια απέχουν από ένα σημείο Ρ αποστάσεις r_1, r_2 και r_3, η σχέση που δίνει το χρόνο επαναπλήρωσης θα είναι:

$$t = \frac{\sqrt[3]{r_1^2\cdot r_2^2\cdot r_3^2}}{2.25KB/S_y}\exp\frac{2\pi K(B+h_0)}{3Q_o}s_\tau \qquad (21)$$

και για $r_1=r_2=r_3=r=\alpha\sqrt{3}/3$ η σχέση (21) γίνεται:

$$t = \frac{r^2}{2.25KB/S_y}\exp\frac{2\pi K(B+h_0)}{3Q_o}s_\tau \qquad (22)$$

όπου α είναι η πλευρά του ισόπλευρου τριγώνου.

Για α=120 m, $r=r_1=r_2=r_3=69.28$, οπότε μετά την εκτέλεση των πράξεων δίνει: t= 5.32 ημέρες για s_τ= 4 m και t= 1.30 ημέρες για s_τ= 2 m.

Όταν τα φρεάτια απέχουν από ένα σημείο Ρ αποστάσεις r_1=110 m, r_2=120 m και r_3=145 m, ο χρόνος επαναπλήρωσης από τη σχέση (21) μετά την εκτέλεση των πράξεων θα είναι: t= 17.08 ημέρες για s_τ= 4 m και t= 4.18 ημέρες για s_τ= 2 m.

III. Περίπτωση τεσσάρων φρεατίων

Όταν τα φρεάτια σχηματίζουν μια τετραγωνική διάταξη πλευράς α θα ισαπέχουν από ένα σημείο Ρ αποστάσεις $r = r_1 = r_2 = r_3 = r_4 = \alpha\sqrt{2}/2$ και ο χρόνος επαναπλήρωσης από τη σχέση (19) θα είναι:

$$t = \frac{\sqrt[4]{r_1^2\cdot r_2^2\cdot r_3^2\cdot r_4^2}}{2.25KB/S_y}\exp\frac{2\pi K(B+h_0)}{4Q_o}s_\tau \qquad (23)$$

και για $r_1=r_2=r_3=r_4=r$ η σχέση:

$$t = \frac{r^2}{2.25KB/S_y}\exp\frac{2\pi K(B+h_0)}{4Q_o}s_\tau \qquad (24)$$

Για α=148 m θα είναι $r=r_1=r_2=r_3=r_4=104.65$, οπότε μετά την εκτέλεση των πράξεων δίνει: t= 5.91 ημέρες για s_τ= 4 m και t= 2.13 ημέρες για s_τ= 2 m.

Όταν τα φρεάτια σχηματίζουν ρομβική διάταξη πλευράς α, θα απέχουν από ένα σημείο Ρ αποστάσεις $r_1 = r_3 = \alpha\sqrt{3}/2 = 161.08$ m και $r_2 = r_4 = \alpha/2 = 93$ m, για α=186 m. Από τη σχέση (23) μετά την εκτέλεση των πράξεων, ο χρόνος επαναπλήρωσης θα είναι: t= 8.08 ημέρες για s_τ= 4 m και t= 2.92 ημέρες για s_τ= 2 m.

Όταν τα φρεάτια σχηματίζουν ένα τυχαίο τετράπλευρο και απέχουν από ένα σημείο Ρ αποστάσεις r_1=135 m, r_2=120 m, r_3=148 m και r_4=155 m, ο χρόνος επαναπλήρωσης θα είναι: t= 10.40 ημέρες για s_τ= 4 m και t= 3.75 ημέρες για s_τ= 2 m.

Από τις παραπάνω εφαρμογές εύκολα συμπεραίνεται ότι οι εξισώσεις για την επαναπλήρωση ενός φρεατικού υδροφορέα με συστάδα φρεατίων, διατηρώντας σταθερή την παροχή, δίνουν καλά αποτελέσματα σε όλες τις περιπτώσεις.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην εργασία αυτή μελετήθηκε η διαδικασία της τεχνητής επαναπλήρωσης και διαχείρισης των ελεύθερων ή φρεατικών υδροφορέων. Έγινε εξαγωγή των αναλυτικών λύσεων για την επαναπλήρωση στους υδροφορείς αυτούς με φρεάτιο καθώς επίσης και με συστάδα υδρογεωτρήσεων. Εξετάστηκε η περίπτωση της επαναπλήρωσης ενός υδροφορέα διατηρώντας στο φρεάτιο σταθερή την παροχή. Η σχέση (14) όσον αφορά την επαναπλήρωση ενός φρεατικού υδροφορέα, μεγάλης οριζόντιας έκτασης, ομογενούς και ισότροπου, διατηρώντας σταθερή την παροχή επαναπλήρωσης στο φρεάτιο, μπορεί να εφαρμοσθεί για μικρές αποστάσεις από τη γεώτρηση και για μεγάλους χρόνους γιατί πρέπει να ισχύει ο περιορισμός $u<0.01$, ενώ η σχέση (12) μπορεί να εφαρμοσθεί χωρίς περιορισμούς, αλλά για να υπάρχουν αποτελέσματα πρέπει στις μεγάλες αποστάσεις από τη γεώτρηση να εφαρμόζονται μεγάλοι χρόνοι επαναπλήρωσης. Οι εξισώσεις για την επαναπλήρωση ενός φρεατικού υδροφορέα με συστάδα φρεατίων, διατηρώντας σταθερή την παροχή, δίνουν καλά αποτελέσματα σε όλες τις περιπτώσεις.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Καραμούζης, Δ.Ν., 2003. *Υδραυλική υπογείων υδάτων 3. Διαφορικές εξισώσεις ροής υπόγειων υδάτων.* Εργαστήριο Γενικής και Γεωργικής Υδραυλικής και Βελτιώσεων, Γεωπονική Σχολή Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη.
2. Johnson, A.I. and Finlayson, D.J., 1989. Artificial recharge of groundwater. *Proc. of Int. Symp.,* ASCE, 644 p.
3. Pyne, D.R., 1995. *Groundwater recharge and wells. A guide to aquifer storage recovery*. Lewis Publishers. 376 p.
4. Καραμούζης, Δ.Ν. και Γεωργίου, Π.Ε., 2006. Αναλυτική προσέγγιση της τεχνητής επαναπλήρωσης κλειστού υπό πίεση υδροφόρου. *Πρακτικά 10ου Πανελληνίου Συνεδρίου της ΕΥΕ,* Ξάνθη, 437-444.
5. Καραμούζης, Δ.Ν., 2007. *Υδραυλική υπογείων υδάτων. 9. Τεχνητή επαναπλήρωση υπόγειων νερών.* Εργαστήριο Γενικής και Γεωργικής Υδραυλικής και Βελτιώσεων, Γεωπονική Σχολή Α.Π.Θ., 127 σελ., Θεσσαλονίκη.
6. Hantush, M.S., 1964. *Hydraulics of wells*. In Hydroscience, vol. 1, Academic Press, New York.
7. Huisman, L. and Olsthoorn, T.N., 1983. *Artificial groundwater recharge.* Pitman Advanced Publishing Program. 320 p.
8. Τερζίδης, Γ.Α. και Καραμούζης, Δ.Ν., 1985. *Υδραυλική υπογείων νερών.* Εκδόσεις Ζήτη, 352 σελ., Θεσσαλονίκη.

(193)

ΣΧΕΔΙΟ ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΗΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΥΔΡΟΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ Ν. ΚΑΛΥΜΝΟΥ

Δ. Κ. Καρπούζος
Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Γεωπονική Σχολή, Εργαστήριο Γενικής και Γεωργικής Υδραυλικής και Βελτιώσεων, 54124 Θεσ/νίκη, e-mail: dimkarp@agro.auth.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα εργασία πραγματεύεται ένα σχέδιο ολοκληρωμένης διαχείρισης του υδροσύστηματος της ν. Καλύμνου. Εκτιμώνται οι υδρολογικές συνιστώσες και οι υδατικές απαιτήσεις και επιχειρείται η προσομοίωση του υδροσυστήματος μέσω εφαρμογής εξελιγμένων υπολογιστικών εργαλείων. Η απόκρισή του διερευνάται για διάφορες εναλλακτικές διαχειριστικές πολιτικές με ένα πλήθος στοχαστικών υδρολογικών σεναρίων. Τα αποτελέσματα της στοχαστικής και λειτουργικής προσομοίωσης προσδιόρισαν το εύρος και τη θέση των ελλειμμάτων και αστοχιών. Επίσης, ανέδειξαν την ανάγκη για ενιαία -σε επίπεδο νησιού- και ορθολογική διαχείριση των υδατικών πόρων των λεκανών απορροής.

AN INTEGRATED WATER RESOURCES SYSTEM MANAGEMENT PLAN: THE CASE OF KALYMNOS

D. K. Karpouzos
Aristotle University of Thessaloniki, School of Agriculture, Department of Hydraulics, Soil Science and Agricultural Engineering, 54124, Thessaloniki, dimkarp@agro.auth.gr

ABSTRACT

This paper presents an integrated water resources system management approach. In this context the case of Kalymnos island is investigated. At first, the hydrological components and water demands are analyzed. Then a stochastic and operational simulation of the hydrosystem is attempted. Especially, three water resources management policies are considered and the hydrosystem response is evaluated through a large number of stochastic forecast scenarios. The results of this stochastic and operational simulation determined the range and location of water deficits for each policy. Finally, it is concluded that in case of small islands, such as Kalymnos, there is a strong need of a combined water management policy of hydrologic basins.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

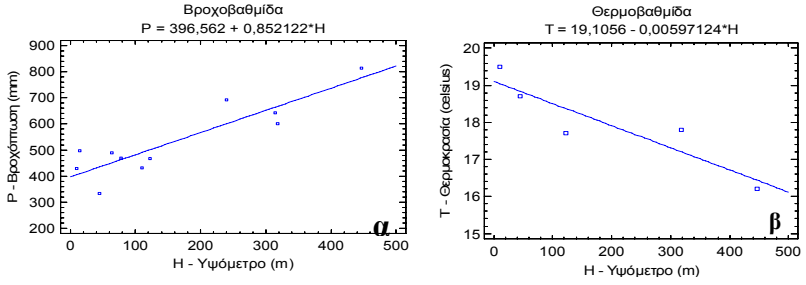
Η Κάλυμνος, είναι το τέταρτο σε έκταση νησί των Δωδεκανήσων με 110,50 km^2 και με συνολικό μήκος ακτών 104,59 km. Το μέγιστο μήκος είναι 14 km και το μέγιστο πλάτος 13 km. Οι συνεχώς αυξανόμενες υδατικές ανάγκες της νήσου οι οποίες εντείνονται κατά τη θερινή περίοδο κυρίως λόγω της τουριστικής κίνησης και της εφαρμογής των αρδεύσεων, αλλά και η μη συνδυασμένη και τοπικά εντατική εκμετάλλευση των υδατικών πόρων των λεκανών απορροής, δημιουργούν ένα εύθραυστο υδατικό ισοζύγιο προσφοράς και ζήτησης. Στην παρούσα εργασία, η οποία εντάσσεται στα πλαίσια υλοποίησης ερευνητικού προγράμματος χρηματοδοτούμενου από τη ΓΓΕΤ (Γ' ΚΠΣ Επιχειρησιακό Πρόγραμμα Ανταγωνιστικότητα), επιχειρείται η διερεύνηση ενός διαχειριστικού πλαισίου των υδατικών πόρων της νήσου μέσω εφαρμογής εξελιγμένων υπολογιστικών εργαλείων και μεθόδων σε επίπεδο λεκάνης απορροής και συνολικά.

2. ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΑ - ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Το κλίμα του νησιού χαρακτηρίζεται ως μεσογειακό υποτροπικό και ανήκει στη ζώνη της λεμονιάς H8Yw8α. Είναι γενικά θερμό την άνοιξη, το καλοκαίρι και το φθινόπωρο, με ήπιο χειμώνα. Ελλείψει μετεωρολογικών και υδρολογικών στοιχείων η παραγωγή ιστορικών χρονοσειρών βροχόπτωσης και θερμοκρασίας επιτεύχθηκε μέσω αξιοποίησης των μετρήσεων των μετεωρολογικών σταθμών γειτονικών της Καλύμνου νήσων.

2.1. Εκτίμηση επιφανειακής βροχόπτωσης και θερμοκρασίας

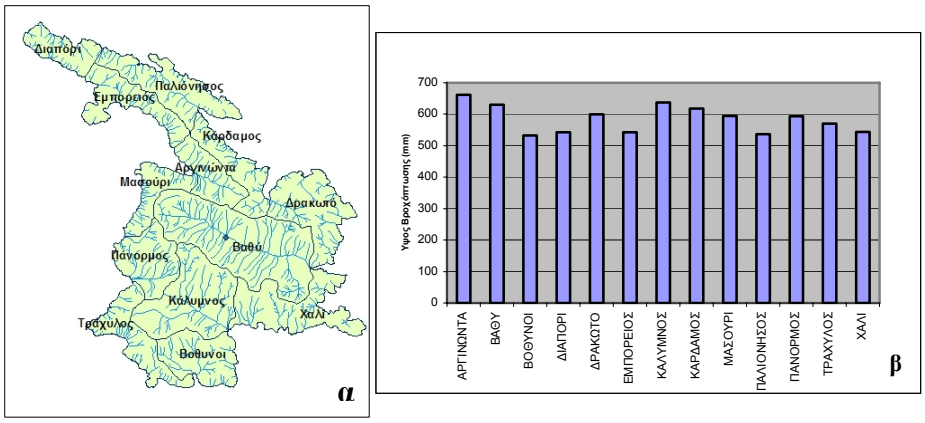
Για τον υπολογισμό της επιφανειακής βροχόπτωσης και θερμοκρασίας στην Κάλυμνο αρχικά προσδιορίστηκαν η βροχοβαθμίδα και θερμοβαθμίδα της ευρύτερης περιοχής. Για τη βροχοβαθμίδα, χρησιμοποιήθηκαν οι μετρήσεις 11 σταθμών για την κοινή περίοδο 1981-1993 που υπήρχαν διαθέσιμα δεδομένα. Οι σταθμοί αυτοί είναι οι εξής: Αστυπάλαια, Κάρπαθος, Κάσος, Κως-Κέφαλος-Ασφένδιο της Κω και Εμπώνας-Κατταβιά-Λαέρμα της Ρόδου. Αντίστοιχα, για τον υπολογισμό της θερμοβαθμίδας για την ίδια κοινή περίοδο 1981-1993 ελήφθησαν υπόψη τα διαθέσιμα δεδομένα των σταθμών Αστυπάλαιας, Καρπάθου, Κω και Ρόδου (Εμπώνας και Λαέρμα). Η γραφική απεικόνιση καθώς και η εξίσωση της ευθείας της γραμμικής παλινδρόμησης μεταξύ των υψομέτρων και των υπερετήσιων υψών βροχής και θερμοκρασίας στους παραπάνω σταθμούς παρουσιάζονται στο *σχήμα 1*.



Σχήμα 1. Γραμμική παλινδρόμηση (α) βροχόπτωσης και υψομέτρου και (β) θερμοκρασίας και υψομέτρου

Η γραμμική συσχέτιση που προέκυψε τόσο μεταξύ υψομέτρου και βροχόπτωσης όσο και μεταξύ υψομέτρου και θερμοκρασίας είναι στατιστικά σημαντική καθώς ο

συντελεστής συσχέτισης |R| είναι 0,89 και 0,91 αντίστοιχα. Η επιφανειακή βροχόπτωση και θερμοκρασία σε κάθε μία από τις 13 λεκάνες απορροής (*σχήμα 2α*) υπολογίσθηκαν με χρήση των παραπάνω τιμών βροχοβαθμίδας-θερμοβαθμίδας και των αντίστοιχων παράγωγων συντελεστών υψομετρικής αναγωγής με σταθμό αναφοράς την Κω. Οι χρονοσειρές βροχόπτωσης και θερμοκρασίας (1981-1993) που παρήχθησαν για κάθε λεκάνη και συνολικά για τη Κάλυμνο επεκτάθηκαν μέχρι και το 2001, έτος μέχρι το οποίο ήταν διαθέσιμα τα δεδομένα βροχόπτωσης και θερμοκρασίας για το σταθμό αναφοράς της Κω. Η μέση ετήσια βροχόπτωση της περιόδου 1981-2001 ανά λεκάνη απορροής παρουσιάζεται στο *σχήμα 2β*.



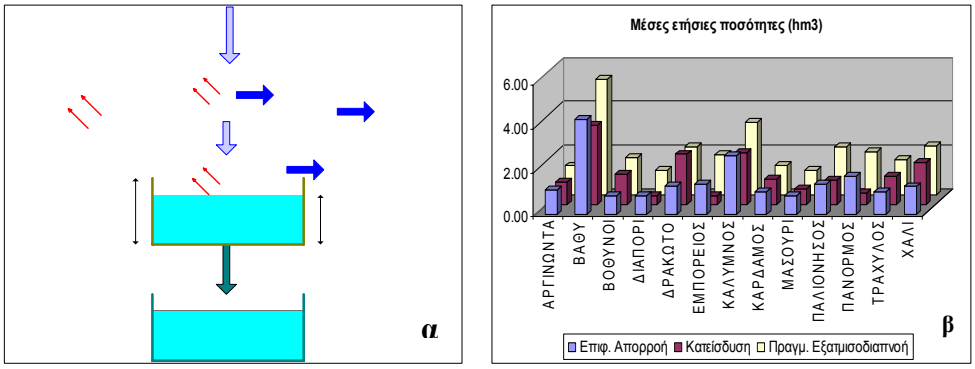
Σχήμα 2. (α) Λεκάνες απορροής ν. Καλύμνου (επεξεργασία από πηγή [10]) και (β) μέση ετήσια βροχόπτωση ανά λεκάνη απορροής για την περίοδο 1981-2001

2.2 Υδρολογικό ισοζύγιο

Η προσομοίωση των υδρολογικών διεργασιών της κάθε λεκάνης της νήσου η οποία αποσκοπεί στον επιμερισμό της βροχόπτωσης σε απορροή, κατείσδυση και απώλειες λόγω εξατμοδιαπνοής υλοποιήθηκε μέσω εφαρμογής του εννοιολογικού μοντέλου ισοζυγίου εδαφικής υγρασίας «Ζυγός» που αποτελεί μια τροποποιημένη έκδοση του μοντέλου Thornthwaite-Mather. Ως δεδομένα του μοντέλου εισήχθησαν οι 14 παραχθείσες ιστορικές χρονοσειρές βροχόπτωσης (1981-2001) καθώς και οι 14 χρονοσειρές δυνητικής εξατμοδιαπνοής (1981-2001) οι οποίες υπολογίστηκαν με την μέθοδο Thornthwaite με χρήση των 14 χρονοσειρών θερμοκρασίας. Η υπολογιστική διαδικασία υλοποιήθηκε σε μηνιαίο βήμα. Η λειτουργική δομή του μοντέλου (*σχήμα 3α*) επιτρέπει την προσομοίωση των υδρολογικών διεργασιών μέσω ενός περιορισμένου αριθμού παραμέτρων. Οι τιμές των βασικών παραμέτρων του μοντέλου και συγκεκριμένα του ρυθμού εκφόρτισης μ της δεξαμενής εδαφικής υγρασίας για την παραγωγή κατείσδυσης, της χωρητικότητας της δεξαμενής εδαφικής υγρασίας K και του συντελεστή κ της άμεσης επιφανειακής απορροής ελήφθησαν βάσει των ταξινομημένων (σε κλάσεις) επεξεργασμένων στοιχείων της διαπερατότητας, της μηχανικής σύστασης του εδάφους, της χρήσης γης και της κλίσης του εδάφους, όπως προσδιορίστηκαν για την Κάλυμνο από το ΥΠΑΝ [10]. Η αρχική εκτίμηση της τιμής της εδαφικής υγρασίας θεωρήθηκε ίση με μηδέν με την αιτιολογία ότι η εκκίνηση της προσομοίωσης συμπίπτει με την έναρξη του υδρολογικού έτους.

Από την εφαρμογή του μοντέλου προέκυψαν 42 συνολικά χρονοσειρές επιφανειακής απορροής, πραγματικής εξατμοδιαπνοής και κατείσδυσης σε μηνιαία βάση για κάθε λεκάνη απορροής. Συνολικά για τη ν. Κάλυμνο, για την περίοδο 1981-2001 προέκυψε ότι η ενεργή βροχόπτωση (μετά από αφαίρεση των απωλειών της εξατμοδιαπνοής)

περίπου ισοκατανέμεται στις συνιστώσες της κατείσδυσης και επιφανειακής απορροής. Ο μέσος ετήσιος όγκος της κατείσδυσης ανέρχεται σε 18,3 hm^3. Σε άλλες ερευνητικές εργασίες [4],[5],[7],[10] οι μέσες ετήσιες ποσότητες κατείσδυσης κυμαίνονται από 13,5 έως 22,4 hm^3. Το μεγαλύτερο ποσοστό όμως των κατεισδυόντων υδάτων διαφεύγει προς τη θάλασσα με ταχεία εκφόρτιση των καρστικών ασβεστόλιθων [1],[7],[10]. Οι μέσες ετήσιες ποσότητες κατείσδυσης, επιφανειακής απορροής και πραγματικής εξατμοδιαπνοής ανά λεκάνη απορροής παρουσιάζονται στο *σχήμα 3β*.



Σχήμα 3. (α) Λειτουργική δομή του μοντέλου υδρολογικού ισοζυγίου «Ζυγός» και (β) οι μέσες ετήσιες ποσότητες (σε hm^3) που υπολογίστηκαν για την περίοδο 1981-2001.

3. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΑΝΑΓΚΩΝ

3.1. Υδρευτικές απαιτήσεις

Οι υδρευτικές ανάγκες εκτιμήθηκαν για την περίοδο 2001-2020 σε μηνιαία κλίμακα και αφορούν τον μόνιμο και εποχιακό πληθυσμό, τη βιομηχανία και την κτηνοτροφία σε επίπεδο λεκάνης απορροής. Το σύνολο των υδρευτικών απαιτήσεων βάσει των στοιχείων της Εθνικής Στατιστικής Υπηρεσίας Ελλάδας (ΕΣΥΕ) εντοπίζεται στις λεκάνες Καλύμνου, Βαθέος, Πανόρμου, Αργινώντα, Εμπορειού και Βοθυνών.

3.1.1 Μόνιμος – Εποχιακός Πληθυσμός

Η εκτίμηση της εξέλιξης του μόνιμου πληθυσμού στη ν. Κάλυμνο, έγινε με τη γεωμετρική μέθοδο για τα έτη 2001 έως 2020. Βάσει των στοιχείων των τελευταίων απογραφών της ΕΣΥΕ ο πληθυσμός για το 2001 ανερχόταν σε 16.235 κατοίκους και ο μέσος ετήσιος ρυθμός μεταβολής του (ΜΕΡΜ) για τη δεκαετία 1991-2001 σε 0,33%. Ο ΜΕΡΜ για την περίοδο 2001-2020 θεωρήθηκε ίσος με 1% λόγω και της επικείμενης περιφερειακής ανάπτυξης της χώρας με την υλοποίηση των στόχων του Δ' ΚΠΣ. Με τις παραπάνω παραδοχές ο πληθυσμός της νήσου για το έτος 2020 υπολογίστηκε σε 19.614 κατοίκους και επιμερίστηκε στους οικισμούς σύμφωνα με την πληθυσμιακή κατανομή του νησιού από την ΕΣΥΕ για το έτος 2001.

Η εκτίμηση της εξέλιξης του εποχιακού πληθυσμού βασίστηκε στις καταγεγραμμένες διανυκτερεύσεις από τον ΕΟΤ [1] οι οποίες επαυξήθηκαν κατά 50% για να συμπεριλάβουν το σημαντικό ποσοστό επισκεπτών που διαμένει σε μη καταγεγραμμένα από τον ΕΟΤ καταλύματα. Ο ΜΕΡΜ για την περίοδο 2001-2020 θεωρήθηκε ίσος με 5% προκειμένου να αποτυπωθεί η συνεχώς αυξανόμενη τουριστική κίνηση που παρουσιάζει το νησί. Από τις εκτιμήσεις αυτές ο αριθμός των διανυκτερεύσεων για το έτος 2020 ανέρχεται σε 257.506 και επιμερίζεται με αλγόριθμο γεωγραφικής κατανομής βάσει στοιχείων ΕΟΤ και τοπικών εκτιμήσεων στις λεκάνες

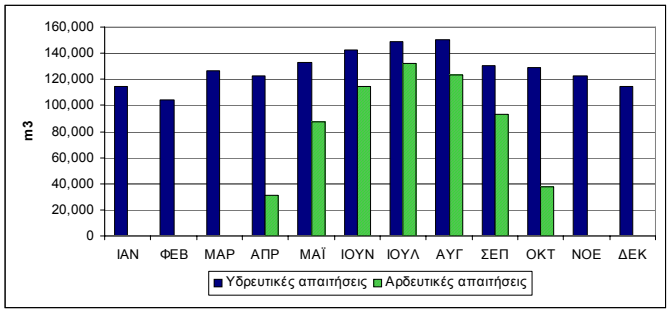
απορροής. Η μηνιαία κατανομή των διανυκτερεύσεων θεωρήθηκε ίση με τη μέση μηνιαία κατανομή των ετών 1995-1996 [3] όπου και υπήρχαν στοιχεία. Η μέση ημερήσια κατανάλωση (ΜΗΚ) για τον μόνιμο πληθυσμό θεωρήθηκε ίση με 150 λ/κατ/ημέρα και με εποχική μεταβολή +/- 10% για τους καλοκαιρινούς και χειμερινούς μήνες αντίστοιχα ενώ η ΜΗΚ για τον εποχιακό πληθυσμό λήφθηκε 165 λ/διαν/ημέρα και σταθερή. Η κατανάλωση νερού για δημοτικές χρήσεις εκτιμήθηκε ως το 10% των υδρευτικών αναγκών του μόνιμου πληθυσμού ενώ οι απώλειες νερού λήφθηκαν ως κυμαινόμενο ποσοστό των υδρευτικών αναγκών του μόνιμου και εποχιακού πληθυσμού και συγκεκριμένα 30% έως 23% για την περίοδο 2007-2020 με σταθερή ετήσια μείωση 0,5% καθώς έχουν αρχίσει σταδιακά να υλοποιούνται έργα εκσυγχρονισμού του δικτύου.

3.1.2 Βιομηχανία - Κτηνοτροφία

Οι απαιτήσεις σε νερό της βιομηχανίας επικεντρώνονται στη λεκάνη της Καλύμνου και είναι περιορισμένες καθώς πρόκειται κυρίως για οικογενειακές επιχειρήσεις [10]. Οι απαιτήσεις σε νερό της κτηνοτροφίας εκτιμήθηκαν βάσει της πληθυσμιακής απογραφής των ζώων [3] λαμβάνοντας ως ΜΗΚ ανά κατηγορία ζώου αυτές που προτείνονται από το Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων (ΥΠΑΑΤ). Η γεωγραφική κατανομή έγινε αναλογικά με την έκταση των λεκανών απορροής καθώς η κτηνοτροφία παρατηρείται διάσπαρτη στο νησί. Οι απαιτήσεις σε νερό της βιομηχανίας και της κτηνοτροφίας εκτιμήθηκαν σε 58.238 m^3/έτος με μηνιαία ισοκατανομή ενώ δεν προβλέπεται αύξηση για τα επόμενα χρόνια.

Οι συνολικές υδρευτικές απαιτήσεις για το 2020 φαίνονται στο *σχήμα 4*.

3.2 Αρδευτικές απαιτήσεις



Σχήμα 4. Συνολικές υδρευτικές και αρδευτικές απαιτήσεις της ν. Καλύμνου για το έτος 2020

Από τα στοιχεία της ΕΣΥΕ για το έτος 2004 στο νησί αρδεύονται 1126 στρ., εκ των οποίων 850 στρ. με εσπεριδοειδή και 276 στρ. με κηπευτικά. Οι αρδευόμενες εκτάσεις κατά είδος καλλιέργειας κατανεμήθηκαν σε επίπεδο λεκάνης απορροής μετά από επικοινωνία με τη Δ/νση Γεωργίας της Ν. Δωδεκανήσων και εντοπίζονται πρωτίστως στη λεκάνη του Βαθέος (87%) και δευτερευόντως στις λεκάνες του Πανόρμου (9%) και της Καλύμνου (4%). Οι αρδευτικές ανάγκες υπολογίστηκαν με την απλή μέθοδο Blaney-Criddle κατά λεκάνη απορροής λαμβάνοντας τις ιστορικές μέσες μηνιαίες τιμές θερμοκρασίας-βροχόπτωσης και τους μηνιαίους φυτικούς συντελεστές για παραθαλάσσιες περιοχές για τα δυο είδη των καλλιεργειών [6]. Οι απώλειες δικτύου θεωρήθηκαν ίσες με 10% κατά τη διανομή και 10% κατά την εφαρμογή του νερού στο χωράφι. Οι συνολικές αρδευτικές απαιτήσεις για το 2020 φαίνονται στο *σχήμα 4*.

4. ΣΤΟΧΑΣΤΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ - ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΥΔΡΟΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

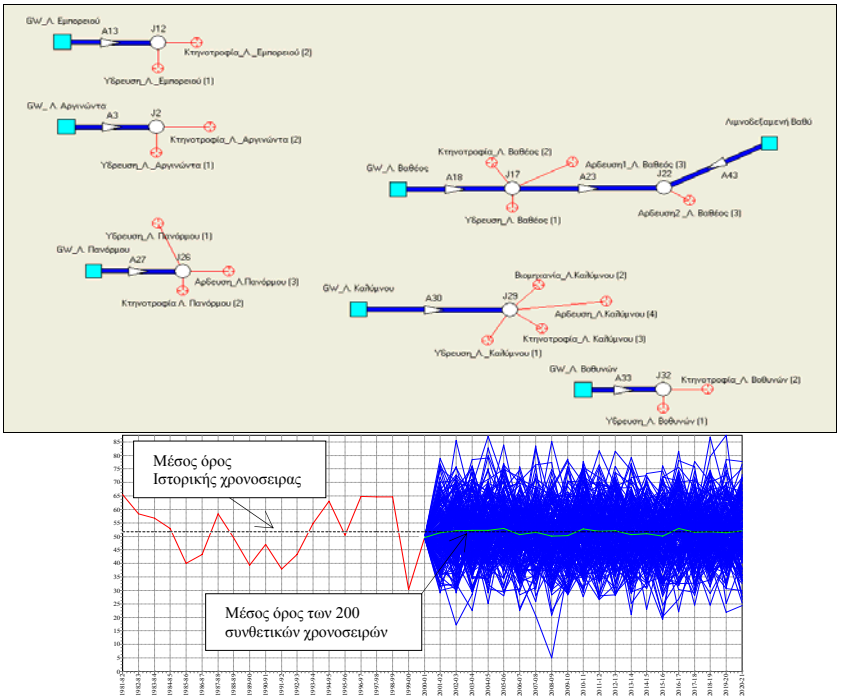
4.1 Στοχαστική προσομοίωση - Σχηματοποίηση υδροσυστήματος

Η μελέτη και απόκριση των υδροσυστημάτων διέπεται από ένα πλήθος αβεβαιοτήτων τόσο σε μηνιαία όσο και σε ετήσια κλίμακα, με σημαντικότερη ασφαλώς την υδρολογική αβεβαιότητα η οποία έγκειται στην αδυναμία ασφαλούς πρόβλεψης της εξέλιξης των υδρολογικών μεταβλητών και στην πολυπλοκότητα των υδρολογικών διεργασιών. Για την ποσοτικοποίηση της αβεβαιότητας, η προσομοίωση του υδροσυστήματος υλοποιείται στοχαστικά. Δηλαδή, οι υδρολογικές μεταβλητές αντιμετωπίζονται ως στοχαστικές ανελίξεις και παράγεται ένα ευρύ σύνολο ισοπίθανων σεναρίων συνθετικών χρονοσειρών. Το υπολογιστικό σχήμα γέννησης συνθετικών χρονοσειρών «Κασταλία» [2] το οποίο εφαρμόσθηκε στην παρούσα εργασία δέχεται ως δεδομένα τα μηνιαία και ετήσια ιστορικά δείγματα των μεταβλητών. Πρώτα, υπολογίζονται τα δειγματικά στατιστικά χαρακτηριστικά, τόσο σε μηνιαία όσο και σε ετήσια βάση. Στην συνέχεια, για κάθε ετήσια μεταβλητή ορίζεται μια θεωρητική συνάρτηση αυτοσυσχέτισης, της οποίας η δομή αναπαράγεται μέσω ενός στάσιμου μοντέλου συμμετρικά κινούμενων μέσων όρων, οι παράμετροι του οποίου εκτιμώνται συναρτήσει των στατιστικών χαρακτηριστικών των ετήσιων ιστορικών χρονοσειρών. Για τη στοχαστική προσομοίωση των μηνιαίων μεταβλητών χρησιμοποιείται ένα περιοδικό μοντέλο αυτοπαλινδρόμησης πρώτης τάξης, PAR(1), διατυπωμένο όπως και το ετήσιο ως πολυμεταβλητό. Οι παράμετροι του μοντέλου εκτιμώνται συναρτήσει των στατιστικών χαρακτηριστικών των μηνιαίων ιστορικών χρονοσειρών. Ακολουθεί η γέννηση των μηνιαίων συνθετικών χρονοσειρών, όπου για κάθε ένα έτος χωριστά, γεννώνται 12 μηνιαίες τιμές μέσω του μοντέλου PAR(1), οι οποίες στη συνέχεια διορθώνονται με γραμμική αναγωγή (μοντέλο επιμερισμού) έτσι ώστε συναθροιζόμενες να είναι συνεπείς με τις αντίστοιχες ετήσιες.

Η σχηματοποίηση του υδροσύστηματος της ν. Καλύμνου (*σχήμα 5*) αναπτύχθηκε στο περιβάλλον του υπολογιστικού σχήματος «Υδρονομέας» όπου προσομοιώνεται η λειτουργική διασύνδεση των υπόγειων και επιφανειακών υδατικών πόρων με τους κόμβους απόληψης του νερού σε επίπεδο λεκάνης απορροής. Σε κάθε κόμβο απόληψης των λεκανών απορροής εισήχθηκε η αντίστοιχη υπολογισμένη μηνιαία ζήτηση του νερού ανά κατηγορία χρήσης για την περίοδο προσομοίωσης 2007-2020. Επίσης, ανάλογα με την κατηγορία χρήσης ορίστηκε και η προτεραιότητα ικανοποίησης της ζήτησης. Τα υπόγεια αποθέματα νερού ανά λεκάνη απορροής προσομοιώθηκαν ως ταμιευτήρες υπόγειων υδάτων με μοναδική εισροή την εκμεταλλεύσιμη κατείσδυση (30 έως 40% της συνολικής), δεδομένου ότι το μεγαλύτερο ποσοστό της κατείσδυσης διαφεύγει προς τη θάλασσα. Σημειώνεται ότι το ΙΓΜΕ έχει εκτιμήσει τα εκμεταλλεύσιμα υπόγεια αποθέματα στο 30,77% της συνολικής κατείσδυσης [9]. Η ωφέλιμη χωρητικότητα κάθε υπόγειου ταμιευτήρα καθορίζεται ως ο μέσος ετήσιος όγκος που προκύπτει από την ιστορική χρονοσειρά εκμεταλλεύσιμης κατείσδυσης της αντίστοιχης λεκάνης απορροής. Για παράδειγμα, στη λεκάνη του Βαθέος η ωφέλιμη χωρητικότητα που προκύπτει για εκμεταλλεύσιμη κατείσδυση 40% και 30% είναι 1,45hm^3 (=0,4*3,63) και 1,08 hm^3 (=0,3*3,63) αντίστοιχα. Κάθε επιπλέον ποσότητα κατείσδυσης που τυχόν προκύψει και δεν καταναλωθεί κατά το τρέχον μηνιαίο βήμα θεωρείται και αυτή (όπως και το 60% ή το 70% της κατείσδυσης) ως απώλεια λόγω διαφυγής στη θάλασσα.

Η εκμεταλλεύσιμη κατείσδυση σε κάθε λεκάνη προσομοιώθηκε στοχαστικά μέσω παραγωγής 200 ισοπίθανων σεναρίων συνθετικών χρονοσειρών για τα έτη 2001 έως 2020. Στο *σχήμα 5β* απεικονίζεται η στοχαστική προσομοίωση για την λεκάνη του Βαθέος. Η λειτουργία της υφιστάμενης λιμνοδεξαμενής στο Βαθύ 156.000 m^3 [8], η οποία προβλέπεται να αρδεύει 300 στρέμματα εσπεριδοειδών, προσομοιώθηκε επίσης

στοχαστικά μέσω παραγωγής 200 σεναρίων συνθετικών χρονοσειρών της βροχής-απορροής και της εξάτμισης.



Σχήμα 5. (α) Σχηματοποίηση υδροσύστηματος Ν. Καλύμνου και (β) απεικόνιση των 200 σεναρίων συνθ. χρονοσειρών της εκμεταλλεύσιμης κατείσδυσης (40%) λεκάνης Βαθέος

Κατά τη λειτουργική προσομοίωση σε κάθε μηνιαίο βήμα επιλύεται και ένα διαφορετικό πρόβλημα βελτιστοποίησης, γνωστό και ως πρόβλημα μεταφοράς, μέσω γραμμικού προγραμματισμού. Το πρόβλημα μεταφοράς έγκειται στη βέλτιστη διανομή των πόρων ελαχιστοποιώντας το κόστος μεταφοράς το οποίο εκφράζεται εικονικά και κατά επίπεδο σημαντικότητας περιλαμβάνει α) την ικανοποίηση της ζήτησης κατά προτεραιότητα χρήσης, β) την ελαχιστοποίηση των διαφυγών στη θάλασσα ή υπερχειλίσεων των υπόγειων και επιφανειακών ταμιευτήρων καθώς και γ) την τήρηση ενός τρέχοντος επιθυμητού αποθέματος όταν υπάρχει διασύνδεση των ταμιευτήρων. Οι περιορισμοί αφορούν την προσφορά και ζήτηση.

4.2 Διαχειριστικές πολιτικές

Μέσω της συνδυασμένης χρήσης των εργαλείων της στοχαστικής (Κασταλία) και λειτουργικής (Υδρονομέας) προσομοίωσης διερευνήθηκαν οι παρακάτω τρεις εναλλακτικές διαχειριστικές πολιτικές των υδατικών πόρων της Καλύμνου για την περίοδο 2007-2020, δηλαδή για κάθε πολιτική εκτελέσθηκαν 33600 μηνιαίες προσομοιώσεις (200 σενάρια *14έτη *12μήνες).

Διαχειριστική Πολιτική-1

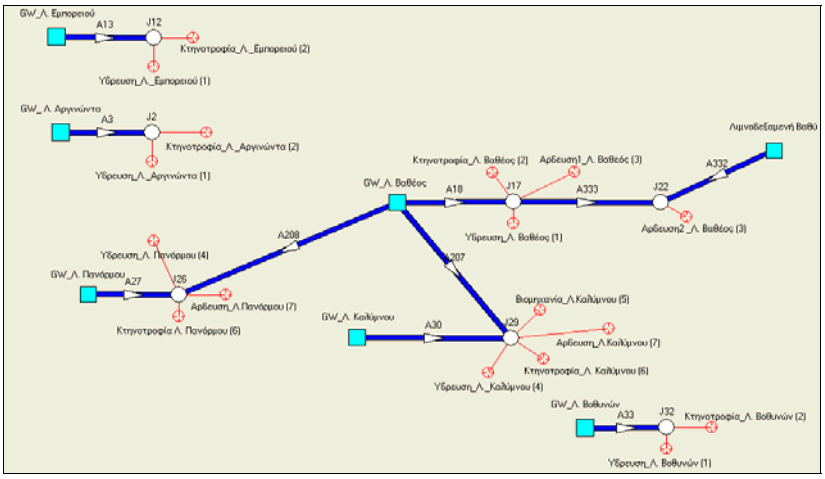
Εξετάζεται η ανεξάρτητη διαχείριση των υδατικών πόρων της κάθε λεκάνης (*σχήμα 5*) με εκμεταλλεύσιμη κατείσδυση το 40% της ολικής.

Διαχειριστική Πολιτική-2

Εξετάζεται η συνδυασμένη διαχείριση των υπόγειων υδατικών πόρων των λεκανών Βαθέος, Καλύμνου και Πανόρμου (*σχήμα 6*) με εκμεταλλεύσιμη κατείσδυση το 40% της ολικής.

Διαχειριστική Πολιτική-3

Εξετάζεται η συνδυασμένη διαχείριση των υδατικών πόρων των λεκανών Βαθέος, Καλύμνου και Πανόρμου (*σχήμα 6*) με εκμεταλλεύσιμη κατείσδυση το 30% της ολικής.



Σχήμα 6. Σχηματοποίηση υδροσύστηματος Ν. Καλύμνου με συνδιαχείριση των υπογείων νερών των λεκανών Βαθέος, Καλύμνου και Πανόρμου

Τα αποτελέσματα από την στοχαστική προσομοίωση του υδροσυστήματος της ν. Καλύμνου για τις τρεις διαχειριστικές πολιτικές παρουσιάζονται συγκεντρωτικά μέσω δεικτών αποτίμησης στον *πίνακα 1* μόνο για τις λεκάνες απορροής Καλύμνου, Πανόρμου και Βαθέος όπου παρουσιάστηκαν αστοχίες πλήρους κάλυψης των υδατικών αναγκών και ελλείμματα.

Τα αποτελέσματα της διαχειριστικής πολιτικής-1 δείχνουν ότι παρουσιάζεται ένα σημαντικό έλλειμμα με μέση τιμή 282.000 m^3 και μέγιστη 367.000 m^3. Το συντριπτικό ποσοστό των ελλειμμάτων εμφανίζεται στη λεκάνη της Καλύμνου η οποία έχει μέγιστες ετήσιες ανάγκες 1.286.400 m^3 (έτος 2020). Η κάλυψη του ελλείμματος, στο βαθμό που σήμερα επιτυγχάνεται πιθανόν οφείλεται στην άντληση ποσοτήτων υφάλμυρου νερού σε συνδυασμό με χρήση, κυρίως κατά τους θερινούς μήνες, εμφιαλωμένου πόσιμου νερού. Στη λεκάνη του Πανόρμου, επίσης παρουσιάζεται ένα έλλειμμα το οποίο εντοπίζεται κυρίως την θερινή περίοδο λόγω της αυξημένης τουριστικής κίνησης πρωτίστως και δευτερευόντως λόγω των αρδεύσεων. Στη λεκάνη του Βαθέος παρατηρείται σημαντικό πλεόνασμα του οποίου όμως δεν γίνεται ορθολογική διαχείριση καθόσον οι γεωτρήσεις και κυρίως τα ιδιωτικά πηγάδια άρδευσης συνωστίζονται στο πεδινό τμήμα με ανεξέλεγκτες αντλήσεις προκαλώντας τουλάχιστον κατά τα ξηρά έτη προβλήματα υφαλμύρινσης. Η διαχειριστική πολιτική-2 εξαλείφει σχεδόν πλήρως το πρόβλημα ελλείμματος της λεκάνης της Καλύμνου (Πόθια) και του Πανόρμου εφόσον βέβαια γίνει ορθολογική διαχείριση των υδατικών αποθεμάτων της λεκάνης του Βαθέος. Στη διαχειριστική πολιτική-3 όπου η εκμεταλλεύσιμη κατείσδυση θεωρείται ότι είναι μόνο 30% της συνολικής, τα ελλείμματα επανεμφανίζονται αλλά σε βαθμό πολύ περιορισμένο της τάξης των 50.000-80.000 m^3. Η διερεύνηση εκμετάλλευσης και των επιφανειακών απορροών με τη κατασκευή ενδοποτάμιων και εξωποτάμιων μικρών λιμνοδεξαμενών στη λεκάνη του Βαθέος (πέραν της υφιστάμενης) ή/και στη λεκάνη της

Καλύμνου (περιοχή Άργους) μπορεί επίσης να συμβάλλει θετικά στη μείωση ή και στην εξάλειψη του ελλείμματος και στον περιορισμό της υφαλμύρινσης.

Πίνακας 1. Αποτελέσματα των διαχειριστικών πολιτικών 1-2-3 για τις λεκάνες απορροής των οποίων οι ανάγκες δεν καλύπτονται πλήρως

	Διαχειριστική Πολιτική 1				**Διαχειριστική Πολιτική 2**			**Διαχειριστική Πολιτική 3**		
	(1) (2)	(3)	(4) (5)	(6) (7)	(3)	(4) (5)	(6) (7)	(3)	(4) (5)	(6) (7)
Ύδρευση	1.167	28.5%	0.248	78.8%	0.1%	0.001	99.9%	3.5%	0.028	97.6%
Καλύμνου	1.219		0.319	72.7%		0.004	99.7%		0.047	96.0%
Ύδρευση	0.052	0.0%	0.000	100%	0.0%	0.000	100%	1.5%	0.001	98.1%
Βαθέος	0.055		0.000	100%		0.000	100%		0.001	98.1%
Ύδρευση	0.156	8.4%	0.009	94.2%	0.1%	0.000	100%	2.5%	0.003	98.1%
Πανόρμου	0.166		0.014	91.0%		0.000	100%		0.006	96.2%
Βιομηχ.	0.032	28.9%	0.009	72.2%	0.1%	0.000	100%	3.6%	0.001	96.9%
Καλύμνου	0.032		0.011	66.0%		0.000	100%		0.002	93.8%
Άρδευση	0.029	38.3%	0.011	62.1%	0.1%	0.000	100%	4.8%	0.001	96.6%
Καλύμνου	0.029		0.014	51.8%		0.000	100%		0.002	93.1%
Άρδευση	0.396	0.0%	0.000	100%	0.0%	0.000	100%	2.5%	0.012	97.0%
Βαθέος	0.396		0.000	100%		0.000	100%		0.021	94.5%
Άρδευση	0.166	0.0%	0.000	100%	0.0%	0.000	100%	1.6%	0.002	98.8%
Βαθέος Λ/Δ	0.166		0.000	100%		0.000	100%		0.005	97.0%
Άρδευση	0.060	13.7%	0.005	91.6%	0.1%	0.000	100%	4.4%	0.002	96.6%
Πανόρμου	0.060		0.009	84.9%		0.000	100%		0.003	95.0%
Ετήσιο Έλλειμμα		**Μέσο: 0.282 hm^3 Μέγιστο:0.367 hm^3**			**Μέσο: 0.001 hm^3 Μέγιστο:0.004 hm^3**			**Μέσο: 0.050 hm^3 Μέγιστο:0.087 hm^3**		

(1)/(2):Μέσες/μέγιστες ετήσιες ανάγκες σε hm^3 (3):Μέση μηνιαία αστοχία για κάλυψη 100% των αναγκών (4)/(5):Μέσο/Μέγιστο ετήσιο έλλειμμα σε hm^3 (6)/(7):Ποσοστό κάλυψης μέσων/μέγιστων ετήσιων αναγκών.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η πολυπλοκότητα των υδρολογικών διεργασιών και η αδυναμία ακριβούς πρόβλεψης της εξέλιξης των υδρολογικών μεταβλητών που χαρακτηρίζουν την λειτουργία των υδροσυστημάτων επιβάλλει τη χρήση μιας ολοκληρωμένης και στοχαστικής προσέγγισης μέσω εξελιγμένων υπολογιστικών εργαλείων. Τα αποτελέσματα της εφαρμογής προσδιόρισαν το εύρος και τη θέση των ελλειμμάτων και αστοχιών και ανέδειξαν επίσης την ανάγκη για την ενιαία -σε επίπεδο νησιού- και ορθολογική διαχείριση των υδατικών πόρων των λεκανών απορροής σε ένα μικρό νησί όπως είναι η Κάλυμνος. Η υιοθέτηση της διαχειριστικής πολιτικής-3 με προσθήκη μικρών λιμνοδεξαμενών θα συμβάλλει στη μείωση ή εξάλειψη του ελλείμματος και της υφαλμύρινσης.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Kechagias E, Katsifarakis K.L, 2004. Planning water resources management in small islands, The case of Kalymnos*, Water Air and Soil Pollution: Focus*, 4(4-5):279-288

2. Koutsoyiannis, D., 2000. A generalized mathematical framework for stochastic simulation and forecast of hydrologic time series, *Water Resources Research*, 36(6):1519-1534
3. Αναπτυξιακή εταιρία Νομού Δωδεκανήσων, http://www.ando.gr
4. ΙΓΜΕ, 2002. *Υδρογεωλογική Έρευνα Νοτίου Αιγαίου*, Φ. Χαρμανίδης, Αθήνα
5. Μιμίδης Θ., Ρίζος Σ., Τρικοίλη Ε. και Κακαδιάρης Σ., 2006. Διαχείριση των υδατικών πόρων της κοιλάδας Βαθύ της νήσου Καλύμνου, *10ο Πανελλήνιο Συνέδριο ΕΥΕ*, Ξάνθη, Δεκέμβριος 2006, 249-256.
6. Μπαλτάς, Ε.Α., 2006. Εφαρμοσμένη μετεωρολογία, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη
7. Περιφέρεια Νοτίου Αιγαίου, 1994, *Μελέτη Αξιοποίησης και διαχείρισης του υδάτινου δυναμικού των νήσων της Περιφέρειας Νοτίου Αιγαίου – Νομός Δωδεκανήσου,* Eurosynergy Consulting, Θεσσαλονίκη
8. ΥΠΑΑΤ, 1992. *Οριστική Μελέτη Λιμνοδεξαμενής Βαθύ Καλύμνου,* Θ. Γκόφας, Αθήνα.
9. ΥΠΑΝ, 2003. *Σχέδιο Προγράμματος Διαχείρισης των Υδατικών Πόρων της Χώρας*, Παράρτημα 3 (ΙΓΜΕ), Αθήνα
10. ΥΠΑΝ, 2005. *Ανάλυση συστημάτων και εργαλείων διαχείρισης υδατικών πόρων υδατικού διαμερίσματος νήσων Αιγαίου*, *Νήσος Κάλυμνος, Α' Φάση: Συλλογή και Επεξεργασία δεδομένων*, Κ/Ξ Υδατοσυστημάτων Αιγαίου, Αθήνα

(195)

Η ΚΟΣΤΟΛΟΓΗΣΗ ΤΟΥ ΑΡΔΕΥΤΙΚΟΥ ΝΕΡΟΥ ΩΣ ΜΕΤΡΟ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΗΣ ΟΔΗΓΙΑΣ 2000/60/ΕΕ ΚΑΙ ΤΗΣ ΚΟΙΝΗΣ ΑΓΡΟΤΙΚΗΣ ΠΟΛΙΤΙΚΗΣ

Ε. Σταυρινός
Δ/νση Σχεδιασμού Εγγ. Έργων & Αξιοπ/σης Εδαφο-Υδατικών Πόρων, Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης & Τροφίμων, Σεράφη 60 & Λιοσσίων, Αθήνα 104 45, email:estav2@yahoo.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η κοστολόγηση του Αρδευτικού Νερού με την ένταξη τριών μελετών στο μέτρο 6.2. του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Αγροτική Ανάπτυξη - Ανασυγκρότηση της Υπαίθρου 2000- 2006» : α) στη Λεκάνη Απορροής του Ποταμού Στρυμόνα β) στη Λεκάνη Απορροής του Ποταμού Πηνειού και γ) στον Κάμπο – Χανίων του Ν. Χανίων, θα χρησιμοποιηθεί ως εργαλείο στην αποτελεσματικότερη χρήση και την ελάχιστη ρύπανση των μη ανανεώσιμων εδαφοϋδατικών πόρων για την υλοποίηση της Οδηγίας και την εφαρμογή της ΚΑΠ στις συνθήκες κάθε περιοχής.

IRRIGATION WATER COST : A MEASURE OF DIRECTIVE 2000/60/EU (WFD) AND COMMON AGRICULTURE POLICY REALIZATION

E. Stavrinos
Direction of Land Reclamation Planning & Soil-Water Resources Exploitation, Ministry of Rural Development & Food, 60 Serafi str. & Liossion, Athens 104 45, email: estav2@yahoo.gr

SUMMARY

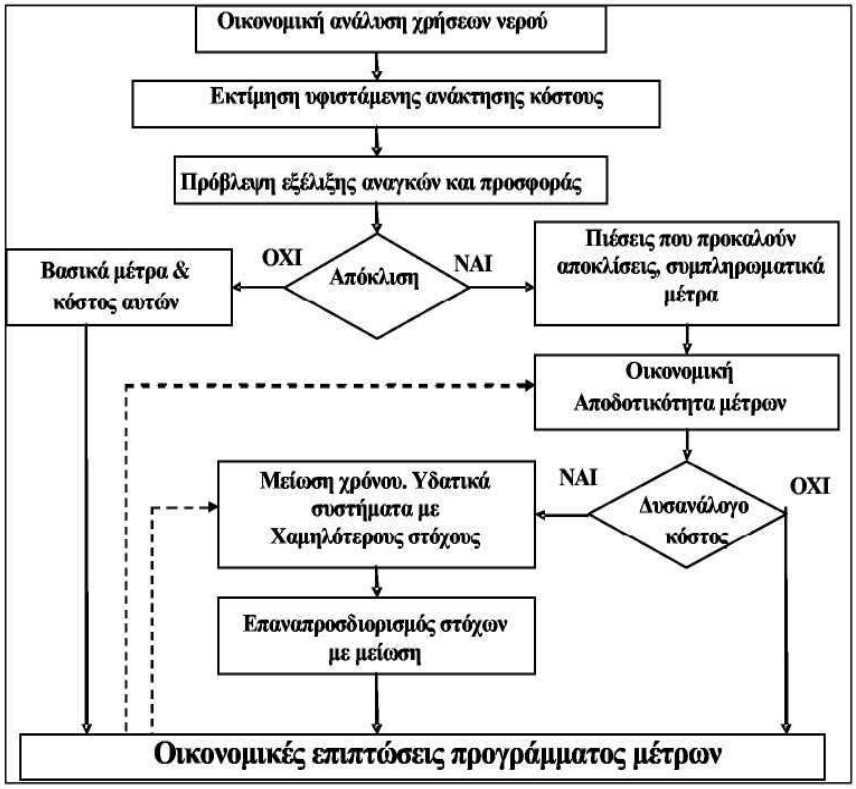
The cost accounting for irrigation water realization has been considered with three pilot projects a) in Strimona river basin b) in Pinios river basin and c) in 'Kampos' plain of Chania – Crete. This study conclusions are going to be used for the more effective and the minimal pollution of not renewable soil and water resources implementation of WFD and CAP in the conditions of each region.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η σημαντικότερη οικονομική αρχή που εισάγει η Οδηγία 2000/60/ΕΕ είναι η δημιουργία ενός κοινού πλαισίου για τη διαχείριση των υδατικών πόρων που βασίζεται στην ανάκτηση του κόστους των υπηρεσιών νερού στα πλαίσια της νέας Κ.Α.Π. Η ανάκτηση του κόστους συμπεριλαμβανομένων του περιβαλλοντικού κόστους και του κόστους των πόρων συνδέεται με κάθε βλάβη ή αρνητική επίπτωση στο εδαφικό και υδάτινο περιβάλλον λαμβάνοντας υπόψη την αρχή ‘’ο ρυπαίνων πληρώνει‘’. Οι χρήσεις του νερού, όπως η αγροτική, απαιτούν τη λεπτομερή μελέτη κατανομής των περιβαλλοντικών στόχων της Οδηγίας 2000/60/ΕΚ μέσω των αντίστοιχων μέτρων (άρθρο 11) [1]. Ακόμη, απαιτείται καλύτερη διάκριση των μορφών επικάλυψης με το υδατικό περιβάλλον (υδατικές χρήσεις / υπηρεσίες ύδατος) σύμφωνα με το άρθρο 9 [6]. Εφόσον οι διαφορετικές πληρωμές της ΚΑΠ επηρεάζουν τη γεωργική παραγωγή με διαφορετικούς τρόπους υπάρχει ανάγκη κατανόησης του συστήματος τιμολόγησης των προϊόντων και ειδικότερα των παραμέτρων που επηρεάζουν τον μηχανισμό τιμολόγησης του νερού. Ενώ οι μηχανισμοί της πολλαπλής συμμόρφωσης της νέας ΚΑΠ σε πολλές περιπτώσεις είναι περισσότερο δεσμευτικοί με τη χρήση του αρδευτικού νερού, ως εισροές, προϋποθέτουν τη μελέτη των στόχων της Οδηγίας με την τιμολόγηση του νερού [4]. Στη μελέτη των Gomez-Limon et al [2] διαπιστώνεται ότι η Κοινή Αγροτική Πολιτική της ΕΕ και οι αρχές της WFD έχουν πολλά σημεία στα οποία το γενικότερο πνεύμα τους είναι αντίθετο. Σε γενικές γραμμές ενώ η ΚΑΠ ενισχύει το ελεύθερο εμπόριο και τον ανταγωνισμό, οι αρχές της Οδηγίας επιβάλλουν πρόσθετο κόστος στην αρδευόμενη γεωργία, επηρεάζοντας αρνητικά την ανταγωνιστικότητά της.

Η ανάλυση των θεμάτων διαχείρισης υδατικών πόρων με βάση οικονομικά εργαλεία και πρακτικές, αποτελεί βασική προϋπόθεση για τον προσδιορισμό των περιβαλλοντικών στόχων που πρέπει να επιτευχθούν και των οικονομικών συνεπειών των κατάλληλων μέτρων όπως η τιμολόγηση υπηρεσιών (παροχής) νερού, προϋποθέτει την αξιολόγηση των ενδεχομένων επιπτώσεων σε κάθε παραγωγικό τομέα, και σε κάθε χρήση νερού. Η διαδικασία υλοποίησης της οικονομικής ανάλυσης που απαιτείται στα πλαίσια της Οδηγίας περιλαμβάνει δύο βήματα (Σχήμα 1).

Το πρώτο βήμα υλοποιείται με την εκτίμηση της υφιστάμενης ανάκτησης του συνολικού κόστους υπηρεσιών νερού, την οικονομική ανάλυση των χρήσεων νερού και την πρόβλεψη της εξέλιξης της ζήτησης και προσφοράς νερού στην περιοχή λεκάνης απορροής ποταμού. Στα πλαίσια του βήματος αυτού διαμορφώνεται το Σενάριο Αναφοράς για την εξέλιξη των βασικών παραμέτρων που επηρεάζουν τη ζήτηση και την προσφορά νερού και τις απαιτούμενες επενδύσεις. Στο δεύτερο βήμα, το Σενάριο Αναφοράς χρησιμοποιείται για την εκτίμηση των προβλεπόμενων επιπτώσεων στην ποιότητα των υδατικών συστημάτων Το τελευταίο βήμα της οικονομικής ανάλυσης σχετίζεται με την εκτίμηση των οικονομικών επιπτώσεων από την εφαρμογή του προγράμματος των μέτρων. Σε περίπτωση που διαπιστωθούν αποκλίσεις από τους στόχους της Οδηγίας, απαιτείται ο προσδιορισμός των κατάλληλων συμπληρωματικών μέτρων [3].



Σχήμα 1. Διαδικασία υλοποίησης της οικονομικής ανάλυσης σύμφωνα με τις απαιτήσεις της Οδηγίας

Η εφαρμογή της αρχής «ο ρυπαίνων πληρώνει» σε περιπτώσεις σημαντικής διάχυτης ρύπανσης είναι ιδιαίτερα δύσκολη. Το επιπλέον κόστος για την παροχή υπηρεσιών, λόγω της διάχυτης ρύπανσης δεν μπορεί να κατανεμηθεί στους ρυπαντές αλλά στις περισσότερες περιπτώσεις κατανέμεται μεταξύ των χρηστών των υπηρεσιών.

Με το Νόμο 3199/2003 εναρμόνισης της ελληνικής νομοθεσίας με την Οδηγία Πλαίσιο, καθώς και με Προεδρικά Διάταγμα τα οποία πρόκειται να ακολουθήσουν καθορίζονται σαφώς οι αρμοδιότητες των επιμέρους φορέων σε επίπεδο Περιφέρειας, όσο και σε Εθνικό επίπεδο, τα ειδικά μέτρα κοστολόγησης του αρδευτικού νερού στα πλαίσια υλοποίησης των διαχειριστικών σχεδίων. Γενικά, ένα από τα χαρακτηριστικά του εθνικού νομικού πλαισίου είναι ότι πλέον, συγκροτούνται καινούργια όργανα, και γίνεται προσπάθεια αποφυγής των αλληλοεπικαλύψεων [3].

Ο γενικός σκοπός της κοστολόγησης του αρδευτικού νερού είναι η ανάπτυξη μεθοδολογικής προσέγγισης (εργαλείων), με βάση τις οικονομικές, κοινωνικές και περιβαλλοντικές συνθήκες της περιοχής εφαρμογής, στα πλαίσια εναρμόνισης της Εθνικής Νομοθεσίας με την Οδηγία Πλαίσιο για τα Νερά και της Κοινής Αγροτικής Πολιτικής, για τη διαμόρφωση της τιμολογιακής πολιτικής της χώρας βασισμένη στη βιώσιμη ανάπτυξη των καλλιεργειών και την αειφορική διαχείριση των υδατικών πόρων .

Οι ειδικοί στόχοι της εργασίας κοστολόγησης του αρδευτικού νερού περιλαμβάνουν

- Τη δημιουργία Γεωγραφικής Βάσης Δεδομένων, στην οποία θα υπάρχει καταχωρημένη όλη η σχετική πληροφορία που θα συγκεντρωθεί για την περιοχή μελέτης.
- Η καταγραφή της κατανάλωσης αρδευτικού νερού και η ανάλυση της προσφοράς και ζήτησης με τη χρήση σύγχρονων τεχνικών.
- Η εκτίμηση των οικονομικών και των περιβαλλοντικών επιπτώσεων στην ευρύτερη περιοχή μελέτης (λεκάνη απορροής ποταμού) και του περιβαλλοντικού κόστους και του κόστους πόρου από τη χρήση του νερού στις αρδευόμενες καλλιέργειες της περιοχής.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Στο μέτρο 6.2. του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Αγροτική Ανάπτυξη - Ανασυγκρότηση της Υπαίθρου 2000- 2006» του Υπουργείου Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων, έχουν ενταχθεί πιλοτικά οι μελέτες : α) Κοστολόγηση Αρδευτικού Νερού στη Λεκάνη Απορροής του Ποταμού Στρυμόνα (Πεδιάδας Σερρών), β) Κοστολόγηση Αρδευτικού Νερού στη Λεκάνη Απορροής του Ποταμού Πηνειού (Υπολεκάνης Τιρνάβου), και γ) Κοστολόγηση Αρδευτικού Νερού στον Κάμπο – Χανίων, του Ν. Χανίων. Αναλυτικότερα τα παρακάτω στάδια περιλαμβάνουν τις εργασίες και περιγράφουν τη μεθοδολογική προσέγγιση υπολογισμού του κόστους στα πλαίσια σύνδεσης της Οδηγίας και της ΚΑΠ με και τους ειδικούς σκοπούς της εργασίας :

Στάδιο Α: Το Στάδιο Α περιλαμβάνει την βιβλιογραφική ανασκόπηση και την καταγραφή της υπάρχουσας σχετικά με θέματα κοστολόγησης του αρδευτικού νερού σε χώρες ΟΟΣΑ. και Ε.Ε.

2.1. Πλήρη ανασκόπηση της σχετικής βιβλιογραφίας

(α) Ανασκόπηση ελληνικής και ξενόγλωσσης βιβλιογραφίας σε θέματα θεωρητικής και εφαρμοσμένης μεθοδολογίας κοστολόγησης του αρδευτικού νερού (ΟΟΣΑ, Ε.Ε).

(β) Καταγραφή του κοινοτικού και εθνικού θεσμικού πλαισίου.

(γ) Διερεύνηση χρηματοοικονομικού, περιβαλλοντικού και κόστους πόρου με βάση τα πραγματικά γεωργοοικονομικά - γεωργοτεχνικά στοιχεία κοστολόγησης του αρδευτικού νερού.

2.2. Καταγραφή των γεωργικών δραστηριοτήτων που αφορούν τις καλλιέργειες

(α) Περιγραφή των έργων αξιοποίησης των υδατικών πόρων που εξυπηρετούν τις παραπάνω δραστηριότητες και ανάλυση του τρόπου λειτουργίας τους με βάση υφιστάμενα δεδομένα. Συλλογή περιβαλλοντικών δεδομένων που σχετίζονται με την υποβάθμιση του περιβάλλοντος λόγω της γεωργικής χρήσης των υδατικών πόρων της περιοχής. Σχεδιασμός και υλοποίηση Γεωγραφικής Βάσης Δεδομένων.

(β) Καταγραφή αρδευόμενων εκτάσεων. Ορισμός αρδευόμενων εκτάσεων, καταγραφή των αρδευόμενων εκτάσεων με τη χρήση δορυφορικής τηλεπισκόπησης.

(γ) Γενική περιγραφή μεθόδων άρδευσης και προέλευσης αρδευτικού νερού (επιφανειακό – υπόγειο) στην περιοχή μελέτης.

(δ) Καταγραφή όλων των υφιστάμενων αρδευτικών έργων με ανάλυση βασικών στοιχείων λειτουργίας τους (διωρύγων άρδευσης και αποστράγγισης, ικανότητα απόληψης και μεταφοράς, λειτουργία αντλιοστασίων, απόδοση αρδευτικών δικτύων κ.λπ.).

(ε) Συλλογή και αρχειοθέτηση υφιστάμενων δεδομένων παροχών έργων άρδευσης και αποστράγγισης, συμπεριλαμβανομένων επιφανειακών και υπογείων νερών, όπου απαιτείται.

(στ) Συλλογή και αρχειοθέτηση υφιστάμενων περιβαλλοντικών δεδομένων που σχετίζονται με την υποβάθμιση του περιβάλλοντος λόγω χρήσης των υδατικών πόρων της περιοχής.
(ζ) Συλλογή και αρχειοθέτηση υφιστάμενων υδρολογικών, μετεωρολογικών δεδομένων.
(η) Συλλογή στοιχείων που αφορούν τις γεωργικές χρήσεις γης, τα είδη καλλιεργειών, την καλλιεργητική περίοδο, τα στάδια ανάπτυξης των φυτών κ.λπ.
(θ) Συλλογή οικονομικών στοιχείων Διοίκησης-Λειτουργίας-Συντήρησης συλλογικών και ατομικών αρδευτικών δικτύων (ΟΕΒ, ομάδες παραγωγών, κ.α.)
(ι) Έλεγχο, αξιολόγηση και συμπλήρωση των παραπάνω δεδομένων.
(κ) Σχεδιασμό και υλοποίηση Γεωγραφικής Βάσης Δεδομένων και εισαγωγή σ' αυτήν των παραπάνω δεδομένων μετά τον έλεγχο, επεξεργασία και συμπλήρωση.

Στάδιο Β: Το Στάδιο Β περιλαμβάνει την καταγραφή της κατανάλωσης του αρδευτικού νερού και την ανάλυση της προσφοράς και ζήτησης.

2.3. **Καταγραφή των υδατικών παραμέτρων που σχετίζονται με την κατανάλωση νερού από τις αγροτικές καλλιέργειες με τη βοήθεια των παραπάνω εργασιών.**

(α) Εφαρμογή σύγχρονων τεχνικών τηλεπισκόπησης για την χωρική και χρονική καταγραφή της κατανάλωσης του νερού άρδευσης.
(β) Ανάλυση των υφισταμένων δεδομένων με χρήση κατάλληλης μεθοδολογίας για την εκτίμηση των ποσοτικών μεγεθών των υπόγειων νερών, και ενσωμάτωσή τους στο Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών.
(γ) Εφαρμογή σύγχρονων τεχνικών τηλεπισκόπησης για την χωρική και χρονική καταγραφή της παραγωγής των καλλιεργούμενων εκτάσεων και της ανάπτυξης βιομάζας των εκτάσεων με φυσική βλάστηση.
(δ) Εφαρμογή σύγχρονων τεχνικών δορυφορικής τηλεπισκόπησης διάκρισης των κύριων αγροτικών καλλιεργειών μέσω φασματικής ταξινόμησης δορυφορικών εικόνων SPOT-5. στις οποίες πετυχαίνει υψηλή χωρική ανάλυση σε ευρεία έκταση (οικονομία κλίμακας). Μαθηματικά ομοιώματα προσομοίωσης θα χρησιμοποιηθούν συμπληρωματικά, όπου απαιτείται.

2.4. **Ανάλυση προσφοράς και ζήτησης νερού.**

(α) Υπολογισμός ισοζυγίου αρδευτικού νερού (μόνο για τις γεωργικές καλλιέργειες) χρησιμοποιώντας τα επίπεδα πληροφοριών που δημιουργήθηκαν.
(β) Ανάλυση των δεδομένων και δημιουργία σειράς σχετικών πληροφοριών:

- Τη χωρική κατανομή της κατανάλωσης νερού
- Τη χωρική κατανομή της αγροτικής παραγωγής
- Την προσφορά νερού στις διάφορες περιοχές
- Την κατανομή του νερού στις διάφορες καλλιέργειες

Στάδιο Γ: Το Στάδιο Γ περιλαμβάνει την εκτίμηση του περιβαλλοντικού κόστους, τον καθορισμό και την οικονομική αξιολόγηση των σεναρίων.

2.5. **Ανάλυση περιβαλλοντικών επιπτώσεων**.

Περιλαμβάνει την εκτίμηση των εν δυνάμει περιβαλλοντικών επιπτώσεων, με έμφαση στους εδαφοϋδατικούς πόρους, ως αποτέλεσμα της χρήσης των επιφανειακών και υπογείων νερών στη γεωργία.

(α) Θα εκτιμηθεί η ποιοτική επιβάρυνση και η ποσοτική μείωση των επιφανειακών και υπογείων υδάτων και των εξαρτημένων από αυτά οικοσυστημάτων στη περιοχή του έργου, ως περιβαλλοντικό κόστος , λαμβάνοντας υπόψη τις αλληλεπιδράσεις υπογείων και επιφανειακών υδάτων καθώς και μεταξύ υγροτόπων και άλλων επιφανειακών υδάτων στη λεκάνη απορροής του ποταμού.

(β) Θα εκτιμηθεί η αξιολόγηση των λειτουργιών (εδαφικών και υγροτοπικών) στη περιοχή έργου, ώστε να εκτιμηθεί το κόστος αποκατάστασης αυτών που έχουν υποβαθμισθεί και να συνυπολογισθεί στο κόστος / όφελος κάθε χρήστη και υποδομής.

(γ) Θα υπολογιστεί η επιβάρυνση του περιβάλλοντος από τη χρήση του νερού άρδευσης με την εφαρμογή κατάλληλης μεθοδολογίας

2.6. **Αξιολόγηση σεναρίων ζήτησης και προσφοράς νερού άρδευσης (υψηλή – χαμηλή διαθεσιμότητα νερού).**

(α) Θα αξιολογηθούν δύο σενάρια: σε συνθήκες περίσσειας νερού και σε συνθήκες έλλειψης νερού.

(β) Αναλυτικότερα, υπολογίζονται κατάλληλοι δείκτες που περιγράφουν τη χρήση του αρδευτικού νερού και εκτιμάται το όφελος-κόστος από το συγκεκριμένο σενάριο, αφού ληφθεί υπόψη η μείωσή της χρήσης σε περίπτωση ελλείμματος νερού. Αθροίζοντας όλα τα επί μέρους οφέλη-κόστη και λαμβάνοντας υπόψη το περιβαλλοντικό κόστος υπολογίζεται το συνολικό όφελος κόστος από τη χρήση νερού.

2.7. Πολυκριτηριακή ανάλυση και οικονομική αξιολόγηση κάθε χρήσης νερού.

Περιλαμβάνει την αξιολόγηση του κόστους χρήσης των υδατικών πόρων, της χρήσης και συντήρησης των υποδομών και την επιβάρυνση του περιβάλλοντος στα εξεταζόμενα σενάρια. Η οικονομική ανάλυση θα λάβει υπόψη την εφαρμογή της Οδηγίας 2000 / 60 καθώς και τα κείμενα εξειδίκευσης του παραρτήματος ΙΙΙ που έχουν εκδοθεί ή θα εκδοθούν μέχρι την ολοκλήρωση του έργου καθώς και τα αντίστοιχα έγγραφα (Guidance Documents)

Επίσης περιλαμβάνονται:

(α) Πολυκριτηριακή ανάλυση με βάση τα υφιστάμενα δεδομένα και τα κριτήρια που συνυπολογίζονται στη διαμόρφωση του τελικού κόστους.

(β) Εκτίμηση οικονομικού οφέλους περιβαλλοντικού και κόστους πόρου για κάθε σενάριο σύμφωνα με τα μέτρα της Κοινής Αγροτικής Πολιτικής.

(γ) Πρωτόκολλο Μεθοδολογίας υπολογισμού του κόστους του αρδευτικού νερού (Worksheets) – αντιστοίχηση περιοχών λεκανών απορροής με προσομοίωση των μαθηματικών ομοιωμάτων.

(δ) Προτεινόμενες πολιτικές τιμολόγησης με βάση τις οικονομικές, κοινωνικές και περιβαλλοντικές συνθήκες.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Με τα παρακάτω παραδοτέα του έργου πραγματοποιείται η αντιστοίχηση των περιοχών λεκανών απορροής με την προσομοίωση μαθηματικών ομοιωμάτων όπου ενσωματώνονται τα αποτελέσματα και οι οικονομικές σταθερές - στοιχεία οικονομικού

κόστους της γεωργικής παραγωγής και των αρδευτικών δικτύων - για τον προσδιορισμό του κόστους του αρδευτικού νερού :

3.1. τεύχος για την υλοποίηση του σε γραπτή και ηλεκτρονική μορφή

3.2. G.I.S. για την υλοποίηση της ΓΒΔ

3.3. τεύχος για την υλοποίηση του ισοζυγίου αρδευτικού νερού όπου θα έχουν προσδιοριστεί κατάλληλες σταθερές και δείκτες για την κατανάλωση του αρδευτικού νερού και της προσφοράς και ζήτησης, που θα χρησιμοποιηθούν στο μαθηματικό ομοίωμα κοστολόγησης του αρδευτικού νερού για την εκτίμηση του κόστους του αρδευτικού νερού σε γραπτή και ηλεκτρονική μορφή

3.4. χάρτες με την χρήση τηλεπισκόπησης για την χωρική κατανομή της κατανάλωσης νερού, της αγροτικής παραγωγής, της προσφοράς του στις διάφορες περιοχές, της κατανομής του στις διάφορες καλλιέργειες για την υλοποίηση της ανάλυσης προσφοράς και ζήτησης του αρδευτικού νερού

3.5. τεύχος για την υλοποίηση προσδιορισμού των περιβαλλοντικών επιπτώσεων όπου θα έχουν προσδιοριστεί κατάλληλες περιβαλλοντικές σταθερές και δείκτες όπου θα χρησιμοποιηθούν στο μαθηματικό ομοίωμα κοστολόγησης του αρδευτικού νερού για την εκτίμηση του κόστους του αρδευτικού νερού σε γραπτή και ηλεκτρονική μορφή

3.6. τεύχος για την υλοποίηση της αξιολόγηση σεναρίων ζήτησης και προσφοράς νερού άρδευσης και προσδιορισμού των κατάλληλων σταθερών και δεικτών που θα χρησιμοποιηθούν στο μαθηματικό ομοίωμα κοστολόγησης του αρδευτικού νερού για την εκτίμηση του οικονομικού αποτελέσματος σε γραπτή και ηλεκτρονική μορφή,

3.7. μαθηματικό ομοίωμα κοστολόγησης του αρδευτικού νερού όπου θα ενσωματώνει τα αποτελέσματα των παραπάνω με οικονομικές σταθερές (στοιχεία οικονομικού κόστους) όπως π.χ. αξία της γεωργικής παραγωγής ανά μονάδα βάρους ή όγκου, στρεμματική απόδοση των διαφόρων καλλιεργειών, κόστος παραγωγής (ενέργεια, σπορά, εργατικά, λιπάσματα, φυτοφάρμακα, κλπ), απόσβεση έργων (αρδευτικά δίκτυα κλπ), συντήρηση και λειτουργία έργων για τον προσδιορισμό του κόστους του αρδευτικού νερού σύμφωνα με την πολυκριτηριακή ανάλυση και οικονομική αξιολόγηση κάθε χρήσης νερού.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Με τον υπολογισμό του κόστους του αρδευτικού νερού διαπιστώνονται τα ακόλουθα:

4.1. Η επίδραση της τιμολόγησης του νερού στη ζήτησή του εξαρτάται από τη μορφή της καμπύλης ζήτησης. Στην καμπύλη αυτή υφίστανται δύο ξεχωριστές περιοχές, οι οποίες υποδηλώνουν ότι η διάθεση των αγροτών να πληρώσουν καθορίζεται από τα όργανα της Κοινής Αγροτικής Πολιτικής.

4.2. Λόγω του μικρού αριθμού των ανταγωνιστικών καλλιεργειών, το πρώτο τμήμα της καμπύλης ζήτησης υποδηλώνει ότι το αγροτικό εισόδημα θα μειωθεί σε ένα ποσοστό 15-20% πριν εμφανισθεί μείωση στην κατανάλωση του νερού. Εάν αυτό το γεγονός συνδυασθεί και με τις αρχές της ΚΑΠ, το ποσοστό μείωσης ίσως αγγίξει το 50% των τωρινών επιπέδων, εξέλιξη η οποία θα είναι καταστροφική τόσο κοινωνικά όσο και περιβαλλοντικά (ερήμωση απομονωμένων περιοχών)

4.3. Στην περίπτωση των περιοχών όπου η γεωργία είναι σε μεγάλο βαθμό μηχανοποιημένη με νέες τεχνολογίες, η άμεση μείωση της απασχόλησης στον κλάδο δεν θα είναι σημαντική εκτός εάν η τιμολόγηση του νερού υπερβεί κάποια όρια. Ωστόσο σε άλλες περιοχές η επίδραση θα είναι εντονότερη

4.4. Η στάση και των δύο πολιτικών είναι κοινή στην χρήση λιπασμάτων τα οποία βασίζονται σε αζωτούχες ενώσεις, οι οποίες επιδιώκεται να μειωθούν.

Με την κοστολόγηση του αρδευτικού νερού δεν είναι δυνατόν να επιλυθούν τα προβλήματα των δύο πολιτικών αλλά θα χρησιμοποιηθεί αυτό τοπικά ως εργαλείο για τη διαχείριση υδατικών και εδαφικών πόρων με την εφαρμογή των μέτρων της Κοινής Αγροτικής Πολιτικής. Έτσι, η τιμολόγηση θα χρησιμοποιηθεί περισσότερο στην πρόβλεψη της αποτελεσματικότερης χρήσης και της ελάχιστης ρύπανσης των μη ανανεώσιμων υδατικών πόρων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Οδηγία 2000/60/ΕΚ εκ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 23ης Οκτωβρίου 2000 για τη θέσπιση πλαισίου κοινοτικής δράσης στον τομέα της πολιτικής των υδάτων. Επίσημη Εφημερίδα των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων 22.12.2000: L327/1-L327/72 Οδηγία 2000/60/ΕΕ(WFD) περί πολιτικής των υδάτων στην Ε.Ε.
2. Gomez-Limon et al., 2002. Multi-Criteria Analysis of Input Use in Agriculture, Journal of Agricultural Economics, Volume 55, Number 3, Nov. 2004, Pages 541-564.
3. Νόμος 3199/2003 «Προστασία και διαχείριση των υδάτων – Εναρμόνιση με την Οδηγία 2000/60/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 23ης Οκτωβρίου 2000» (ΦΕΚ 280/Α/9-12-2003)
4. «Προσανατολισμένη Έρευνα Πολιτικής», (SSPE-CT-2005-006618-CAP-WFD, Water Framework Directive meets Common Agricultural Policy – Opportunities for the future), από το Ecologic Institute for International and European Environmental Policy.
5. Stavrinos, E. 2003. Soil-Water Resources Pricing Policy in Agricultural Sectors Based on the Water Framework Directive 2000/60/EU. Bulgarian Journal of Agricultural Engineering (Sofia) 6:21-24.

(200)

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΑΡΔΕΥΣΗΣ, ΣΤΡΕΣ ΦΥΤΩΝ ΚΑΙ ΔΙΑΘΕΣΙΜΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΜΕΝΗΣ ΜΕ GIS ΣΤΗΝ ΑΠΟΔΟΣΗ ΑΡΑΒΟΣΙΤΟΥ

Αγ. Φιλίντας[1α], Π. Ντιούδης[1], Θ. Λέλλης[1], Αρ. Παπαδόπουλος[2] και Ι. Χατζόπουλος[3]

[1] Ανώτατο Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Λάρισας, Σχολή Τεχνολογίας Γεωπονίας, Τμήμα Γεωργικών Μηχανών και Αρδεύσεων, 41110, Λάρισα, [α]filintas@teilar.gr

[2] ΕΘΙΑΓΕ/Ινστιτούτο Εδαφολογίας, 570 01 Θέρμη, Θεσσαλονίκη

[3]Π. Αιγαίου, Σχ Περιβ. Σπουδών, Τμ. Περιβ., Λόφος Πανεπιστημίου, 81100, Μυτιλήνη

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της εργασίας ήταν η μελέτη της επίδρασης του εύρους άρδευσης (9, 12 και 15 ημερών), του υδατικού στρες φυτού και της χαρτογράφησης της εξάντλησης της διαθέσιμης εδαφικής υγρασίας στην απόδοση του αραβοσίτου. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι, το εύρος άρδευσης των 12 και 15 ημερών επέδρασε αρνητικά στην απόδοση του αραβοσίτου, και προκάλεσε σημαντικά υψηλότερες τιμές εξάντλησης της διαθέσιμης υγρασίας (όπως λεπτομερώς έδειξε η GIS χαρτογράφηση), που οδήγησαν τα φυτά σε περιοδικά υδατικά στρες, κατά τους μήνες Ιούλιο-Αύγουστο, με αποτέλεσμα τη στατιστικά σημαντική μείωση της παραγωγής.

EFFECT OF IRRIGATION, PLANT STRESS AND GIS MAPPED DEPLETION OF AVAILABLE SOIL MOISTURE IN MAIZE YIELD

Ag. Filintas[1], P. Dioudis[1], Th. Lellis[1], Ar. Papadopoulos[2] and J. Hatzopoulos[3]

[1] TEI of Larissa, Fac. of Agr., Dept. of Agr. Eng & Irrigation, 41110, Larissa, Greece.

[2] NAGREF/Soil Science Institute, 570 01Thermi, Thessaloniki, Greece

[1]University of the Aegean, Faculty of Environmental Studies, Department of Environment, University Hill, 81100, Mytilini, Greece

ABSTRACT

The aim of this project was to study the effect of irrigation interval (9, 12 and 15 days), plant water stressing and GIS mapping of the available soil moisture depletion, in maize yield. The results showed that, the irrigation interval affected negatively the yield of the 12 and 15 days irrigation interval and caused significantly higher values of available soil moisture depletion (as in detail showed GIS mapping), that led the plants to periodically water stresses, particularly at the months July-August, with result the statistically significant reduction of yield.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο αραβόσιτος (Zea mays L.) καλλιεργείται από 58° Βόρειο Γεωγραφικό πλάτος μέχρι 40 ^{O} Νότιο Γεωγραφικό πλάτος και από το επίπεδο της θάλασσας μέχρι 3.800 μέτρα υψόμετρο. Αποτελεί μία κατεξοχήν αρδευόμενη καλλιέργεια ανά τον κόσμο [1] [2], με κύρια παραγωγό χώρα τις Η.Π.Α. [2]. Ο αραβόσιτος για να επιτύχει μέγιστες αποδόσεις έχει υψηλές εποχικές απαιτήσεις σε νερό [3] [2]. Οι υδατικές απαιτήσεις του αραβοσίτου κυμαίνονται από 500 έως 800 m^3 νερού για την επίτευξη μέγιστης παραγωγής από μια ποικιλία μέσης ωριμότητας σπόρου [3]. Σε χονδρόκοκκα εδάφη παρατηρήθηκε αύξηση της παραγωγής αραβοσίτου από το συνδυασμό βαθιάς άροσης και ενσωμάτωσης υπολειμμάτων (άχυρο) με αύξηση του εύρους άρδευσης [4].

Διάφοροι άλλοι ερευνητές [5] [6] [2] [7] [8] [9], που ασχολήθηκαν εκτεταμένα με την άρδευση του αραβοσίτου συγκλίνουν στο ότι η άρδευση είναι σημαντική από την εμφάνιση των αρρένων ταξιανθιών μέχρι την γαλακτώδη ωρίμανση των κόκκων του σπάδικα. Για τις συνθήκες της Ελλάδος η άρδευση του αραβοσίτου εφαρμόζεται από τον Ιούνιο μέχρι την ωρίμανση, η οποία συμπίπτει συνήθως μέσα έως τέλη Αυγούστου [6] [7] [8] [2], φτάνοντας όμως μερικές φορές έως το πρώτο δεκαπενθήμερο του Σεπτεμβρίου [6] [2]. Οι περισσότερες έρευνες στο συγκεκριμένο θέμα αναφέρονται στην επίδραση της άρδευσης, χρησιμοποιώντας ως συστήματα άρδευσης τον καταιονισμό ή τα αυλάκια. Αντιθέτως, ελάχιστες εργασίες έχουν γίνει με εφαρμογή στάγδην άρδευσης στον αραβόσιτο [6] [2] [7] [8] [9], οι οποίες έκαναν χρήση της μεθόδου του εξατμισιμέτρου για τον υπολογισμό της δόσης άρδευσης. Η μέθοδος αυτή το 2001 χρησιμοποιήθηκε στην Αγγλία ως μέθοδος προγραμματισμού άρδευσης σε ποσοστό 45% των αρδευόμενων εκτάσεων [13]. Ένα επιπλέον πλεονέκτημα της στάγδην άρδευσης είναι ότι υπάρχει μια μεγάλη ποικιλία από διαθέσιμα όργανα μέτρησης της εδαφικής υγρασίας [12] [13], ηλεκτρονικών προγραμματιστών και ηλεκτροϋδραυλικών στοιχείων που δίνουν τη δυνατότητα πλήρους αυτοματοποίησης των δικτύων άρδευσης [12] [14].

Συνολικά, στην Ελλάδα ο αραβόσιτος καλύπτει έκταση 2.667.000 στρεμμάτων [2] δηλαδή το 5 % του συνόλου των καλλιεργούμενων εκτάσεων. Το 2004 η μέση στρεμματική απόδοσή του στην Ελλάδα (στοιχεία Υπουργείου Γεωργίας), ήταν 1.010,88 Kg/στρ (*Σχήμα 1*). Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν η διερεύνηση της επίδρασης του εύρους άρδευσης, του υδατικού στρες του φυτού λόγω μεγάλου εύρους άρδευσης και της εξάντλησης της διαθέσιμης εδαφικής υγρασίας μέσω χαρτογράφησης με GIS, στην απόδοση καλλιέργειας αραβοσίτου που αρδεύονταν με σύστημα στάγδην άρδευσης.

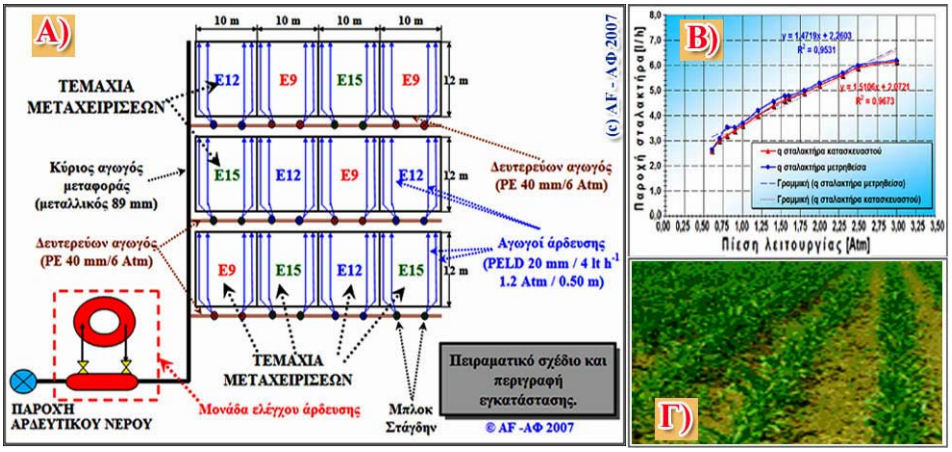
Σχήμα 1. Μέση παραγωγή αραβοσίτου σε Kg/στρ στην Ελλάδα από 2000-2004.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1. Περιγραφή εγκατάστασης

Η έρευνα έγινε κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2004 στο Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Λάρισας, στην πεδιάδα της Θεσσαλίας (*Σχήμα 2.Α*). Σε αγροτεμάχιο του αγροκτήματος του ΤΕΙ/Λ έγινε εγκατάσταση συστήματος στάγδην άρδευσης, όπου μελετήθηκε και αξιολογήθηκε η επίδραση του εύρους άρδευσης (9, 12

και 15 ημερών) στην απόδοση του αραβοσίτου. Το σύστημα άρδευσης (*Σχήμα 2.Α*) αποτελείτο: α) από μονάδα ελέγχου, β) από τον κύριο αγωγό γ) από τους δευτερεύοντες αγωγούς και δ) από τους σταλακτηφόρους σωλήνες (PELD 20 mm/σταλάκτες μαιανδρικής διαδρομής 4 lt ανά h στις 1,2 Atm με ισαποχή σταλακτών 0.50 m) οι οποίοι τοποθετήθηκαν ενδιάμεσα στις γραμμές των φυτών σε ισαποχή (μεταξύ των γραμμών) 1,5 m. Επίσης έγινε εγκατάσταση αισθητήρων μέτρησης εδαφικής υγρασίας (ΕΥ) και μετρήθηκε και αξιολογήθηκε σε καθημερινή βάση η υγρασία του εδάφους.



Σχήμα 2. Α) Σχέδιο διάταξης πειραματικών τεμαχίων και δικτύου άρδευσης. Β) Διάγραμμα πιέσεως-παροχής σταλακτών από τις μετρήσεις κατασκευαστού και τις εργαστηριακές. Γ) Άποψη του πειραματικού αγρού αραβοσίτου στο Τ.Ε.Ι./ Λ.

2.2. Πειραματικό σχέδιο

Τα πειράματα έγιναν το έτος 2004, σε πειραματικό αγρό σε διάταξη πλήρως τυχαιοποιημένων ομάδων που αποτελείτο από τρεις επεμβάσεις με εύρος άρδευσης ανά εννέα (E9), ανά δώδεκα (E12) και ανά δεκαπέντε (E15) ημέρες (για διερεύνηση υδατικού στρες φυτού) επί τέσσερις επαναλήψεις (*Σχήμα 2.Α*). Η τυχαιοποίηση έγινε με τη μέθοδο των στατιστικών πινάκων. Κάθε πειραματικό τεμάχιο είχε πλάτος 10 m (κάθετα στις γραμμές σποράς) και μήκος 12 m (παράλληλα στις γραμμές σποράς).

2.3. Μεθοδολογία

Έγιναν εργαστηριακές μετρήσεις της παροχής/πίεσης των σταλακτών και σύγκριση με τις τιμές και τα οριζόμενα ως επιτρεπτά όρια από τον κατασκευαστή. Διαπιστώθηκε ότι οι διακυμάνσεις ήταν μέσα στα επιτρεπτά όρια (*Σχήμα 2.Β*). Επίσης λόγω της μικρής ισαποχής των σταλακτών και του μικρού μήκους γραμμής των σταλακτηφόρων σωλήνων επιτεύχθηκε υψηλή ομοιομορφία άρδευσης που πλησιάζει το 100%.

Για τον προσδιορισμό της Μηχανικής σύστασης του εδάφους χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος Βουγιούκου, το pH μετρήθηκε με πεχάμετρο και η οργανική ουσία με τη μέθοδο Υγρής καύσης του δείγματος με θεϊκό οξύ.

Η σπορά του αραβοσίτου πραγματοποιήθηκε αρχές Απριλίου με σπαρτική μηχανή σιτηρών. Η ποικιλία που χρησιμοποιήθηκε ήταν η PIONEER-Konstantza (Zea mays L.), (*Σχήμα 2.Γ*) η οποία έχει 125 ημέρες φυσιολογικής ωρίμανσης. Η απόσταση μεταξύ των γραμμών των φυτών ήταν 0,75 m. Πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις της κατ' όγκον ΕΥ καθημερινά σε όλη την αρδευτική περίοδο με χρήση της μεθόδου TDR (Time Domain Reflectometry) η οποία είναι μία αξιόπιστη, μη ραδιενεργός μέθοδος, γρήγορη και ανεξάρτητη από τον τύπο του εδάφους [15] [2] [7] [9]. Έγινε χρήση συσκευής TDR του

οίκου ESI, η οποία ελέγχθηκε και βαθμονομήθηκε με εργαστηριακές μετρήσεις στην αρχή της περιόδου. Ο έλεγχος της ΕΥ είναι μια πολύ σύνθετη διαδικασία και η τοποθέτηση ενός αισθητήρα εντός της ζώνης του ριζοστρώματος των φυτών δεν επαρκεί για να εξασφαλίσει τον ικανοποιητικό έλεγχο αυτής. Από αρκετούς ερευνητές [14] [12] [13], για τον αποτελεσματικότερο έλεγχο, προτείνεται η λύση της χρήσης δύο ή περισσοτέρων αισθητήρων σε διαφορετικά βάθη ώστε να καλύψουν μεγαλύτερο μέρος της ζώνης του ριζοστρώματος. Για το λόγο αυτό και με στόχο την εξασφάλιση της υψηλής ακρίβειας των μετρήσεων χρησιμοποιήθηκαν καθετήρες προσδιορισμού (probe) της εδαφικής υγρασίας, που είχαν ενσωματωμένους 5 αισθητήρες (sensors), οι οποίοι μετρούσαν την ΕΥ σε βάθη: 0-15, 15-30, 30-45, 45-60 και 60-75 cm και βρίσκονταν μόνιμα εγκατεστημένοι στα πειραματικά τεμάχια και σε συνεχή επαφή με το έδαφος. Η μέθοδος TDR εξασφαλίζει υψηλή ακρίβεια μετρήσεων, όταν οι αισθητήρες προσδιορισμού της ΕΥ βρίσκονται σε συνεχή επαφή με το έδαφος [13] [7] [2] [9]. Από τις μετρήσεις των αισθητήρων TDR καταγράφηκε η ΕΥ για κάθε επέμβαση και υπολογίστηκε σε καθημερινή βάση η εξάντληση της διαθέσιμης υγρασίας (ΕΔΥ) κι από τα δεδομένα δημιουργήθηκαν και αξιολογήθηκαν με χρήση GIS και εργαλείων χωρικής ανάλυσης [12], GIS χάρτες ΕΔΥ που παρουσιάζουν την υπεδάφια κατανομή της, από την επιφάνεια του εδάφους μέχρι βάθους 0,75 m για τις ημερομηνίες με τα υψηλότερα ποσοστά ΕΔΥ. Ακόμη, μελετήθηκαν τα μετεωρολογικά δεδομένα και υπολογίστηκε η ωφέλιμη βροχόπτωση *Pe* με την μέθοδο USDA.

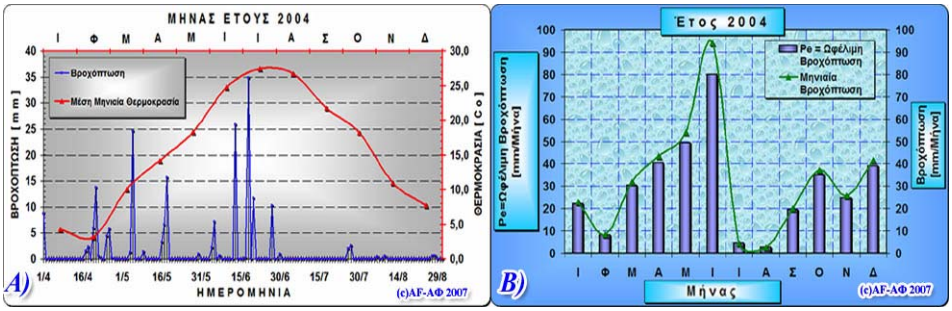
Η δόση άρδευσης για κάθε επέμβαση ήταν ίση με τη συνολική εξατμισοδιαπνοή μεταξύ δύο διαδοχικών αρδεύσεων (λαμβάνοντας υπόψη την ωφέλιμη βροχόπτωση), έτσι όπως μετριόταν με τη βοήθεια εξατμισιμέτρου τύπου Α διορθωμένη με τους αντίστοιχους συντελεστές *Kp* (του εξατμισιμέτρου) και *Kc* (φυτικός συντελεστής) [16].

Στη γαλακτώδη ωρίμανση των κόκκων του σπάδικα, η εμφάνιση μαύρου στίγματος στο 50 % των κόκκων αποτελεί ένδειξη ότι η καλλιέργεια έχει ωριμάσει πλήρως [10] [6]. Το ανωτέρω κριτήριο χρησιμοποιήθηκε στο πείραμα για τη διακοπή της άρδευσης. Όταν ωρίμασε πλήρως η καλλιέργεια πραγματοποιήθηκε ο θερισμός των φυτών. Στη συνέχεια έγινε διαχωρισμός του σπάδικα από το φυτό, αφαίρεση (εκκόκκιση) των σπόρων και ζύγισμά τους, για κάθε σειρά φυτών κάθε πειραματικού τεμαχίου. Με τον τρόπο αυτό προσδιορίστηκε επακριβώς η απόδοση του αραβοσίτου για κάθε επέμβαση.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Για τη μελέτη του κλίματος της περιοχής χρησιμοποιήθηκαν οι παρατηρήσεις του μετεωρολογικού σταθμού Λάρισας (Γεωγραφικό πλάτος 39° 39' N και μήκος 22° 27' E, υψόμετρο του Βαρομέτρου 73,6 m) της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας. Η ετήσια βροχόπτωση του 2004 ήταν 387,3 mm (*Σχήμα 3*). Η μεγαλύτερη μέση μηνιαία βροχόπτωση για το 2004 ήταν $r_υ$= 94,2 mm, παρατηρήθηκε τον Ιούνιο και αποτέλεσε έκπληξη για τα κλιματικά δεδομένα της περιοχής. Η μικρότερη μέση μηνιαία βροχόπτωση ήταν $r_ξ$=2,6 mm κατά το μήνα Αύγουστο (*Σχήμα 3*). Το κλίμα της περιοχής χαρακτηρίζεται σαν XERIC MOISTURE REGIME [17]. Η ωφέλιμη βροχόπτωση *Pe* παρουσιάζεται στο *Σχήμα 3.Β*. Από τα *Σχήματα 3.Α, και 3.Β* φαίνεται ότι κατά τους καλοκαιρινούς η περιοχή μελέτης είχε έλλειμμα υγρασίας και ήταν αναγκαία η εφαρμογή άρδευσης.

Από την εδαφολογική ανάλυση (*Πίνακας 1*) διαπιστώθηκε ότι το έδαφος του πειραματικού αγρού ήταν αργιλώδες (CL). Η υδραυλική αγωγιμότητα κορεσμού μετρήθηκε με Guelph Permeameter και ήταν $3.0x10^{-5}$ cm/sec στα πρώτα 15 cm και $3.2x10^{-5}$ cm/sec σε βάθος 45 cm.



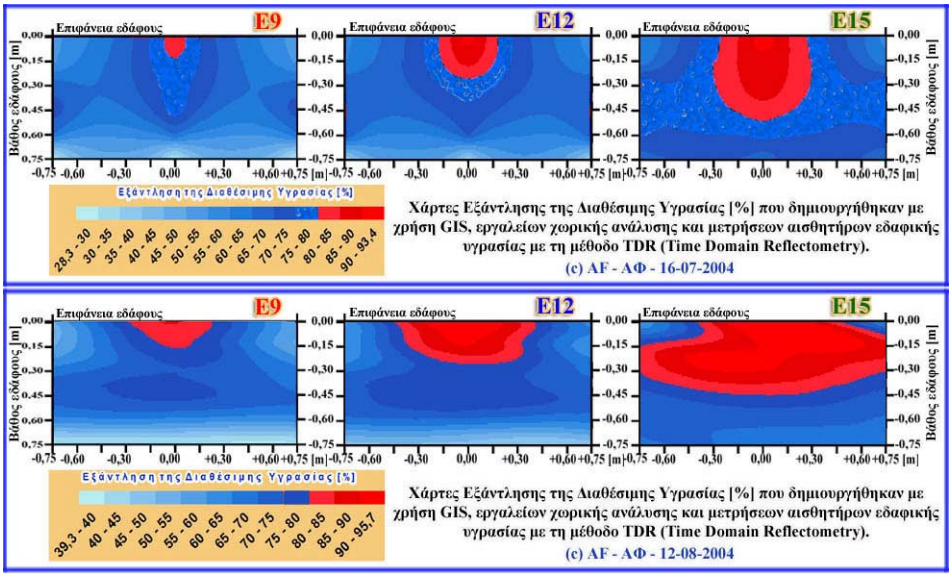
Σχήμα 3. Α) Διάγραμμα ημερήσιας βροχόπτωσης αρδευτικής περιόδου και μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας. Β) Διάγραμμα μηνιαίας ωφέλιμης βροχόπτωσης.

Πίνακας 1. Αποτελέσματα εδαφολογικής ανάλυσης του πειραματικού.

Βάθος [cm]	Μηχ. Σύσταση	Άμμος [%]	Ιλύς [%]	Άργιλος [%]	Υδατοϊκανότητα [% ξ.β.ε.]	ΣΜΜ [% ξ.β.ε.]	ΦΕΒ [gr/cm^3]	pH	Οργ. ουσία %
0-30	CL	28,5	25,	46,0	31,21	17,1	1,42	7,	1,37
30-	CL	28,4	25,	46,0	31,21	17,1	1,42	7,	1,26
60-	**CL**	**28,4**	**25,**	**45,9**	**31,21**	**17,1**	**1,42**	**7,**	**1,29**

Από τις μετρήσεις (σε 5 βάθη και σε διάφορες θέσεις) των αισθητήρων TDR καταγράφηκε η ΕΥ για κάθε επέμβαση και υπολογίστηκε σε καθημερινή βάση η ΕΔΥ κι από τα δεδομένα δημιουργήθηκαν και αξιολογήθηκαν με χρήση GIS και εργαλείων χωρικής ανάλυσης [12], GIS χάρτες ΕΔΥ που παρουσιάζουν την υπεδάφια κατανομή της, από την επιφάνεια του εδάφους μέχρι βάθους 0,75 m για τις ημερομηνίες με τα υψηλότερα ποσοστά ΕΔΥ. Αντιπροσωπευτικοί χάρτες ΕΔΥ για κάθε επέμβαση παρουσιάζονται στο *Σχήμα 4*. Παρατηρούμε στους χάρτες GIS της ΕΔΥ ότι αυξανομένου του εύρους άρδευσης αυξάνεται στα ανώτερα εδαφικά στρώματα η χωρική επιφάνεια του εδάφους, στην οποία σημειώνονται οι υψηλότερες τιμές ΕΔΥ. Σε διάφορες ημερομηνίες (Ιουλίου-Αυγούστου), η επιφάνεια αυτή διαφοροποιείται και είναι ιδιαίτερα μεγάλη στην επέμβαση Ε15, στην οποία τα φυτά καταπονήθηκαν περισσότερο με αποτέλεσμα τη μείωση της .παραγωγής τους (*Πίνακας 2*). Οι μ.ο. των τιμών της ΕΔΥ ξεπέρασαν τις ανώτατες επιτρεπόμενες για πλήρη κάλυψη των αναγκών του φυτού σε αρδευτικό νερό, χωρίς μείωση παραγωγής, δηλαδή το 65% και 80% αντίστοιχα για τα στάδια της καρποφορίας και της ωρίμανσης σύμφωνα με τους Doorenbos and Kassam (1986) [4]. Εδώ τονίζεται ότι οι απώλειες λόγω βαθιάς διήθησης θεωρούνται αμελητέες λόγω της χρήσης της στάγδην άρδευσης.

Στο *Σχήμα 5.Α* και *5.Β* παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της παραγωγής του αραβοσίτου για το έτος 2004. Παρότι στο εύρος άρδευσης των 9 ημερών έχουμε μεγαλύτερες απώλειες λόγω εξάτμισης σε σχέση με το εύρος των 12 και 15 ημερών, η απόδοση των 9 ημερών ήταν μεγαλύτερη. Από τη στατιστική ανάλυση (στατιστικά test ANOVA και Dunnett T3), που διενεργήθηκε με χρήση του στατιστικού πακέτου SPSS, παρατηρείται (*Πίνακας 2*) ότι η διαφοροποίηση του εύρους άρδευσης (ανά 9, 12 και 15 ημέρες) επέδρασε στατιστικώς σημαντικά στην απόδοση του αραβοσίτου (επίπεδο σημαντικότητας $p<0,05$).

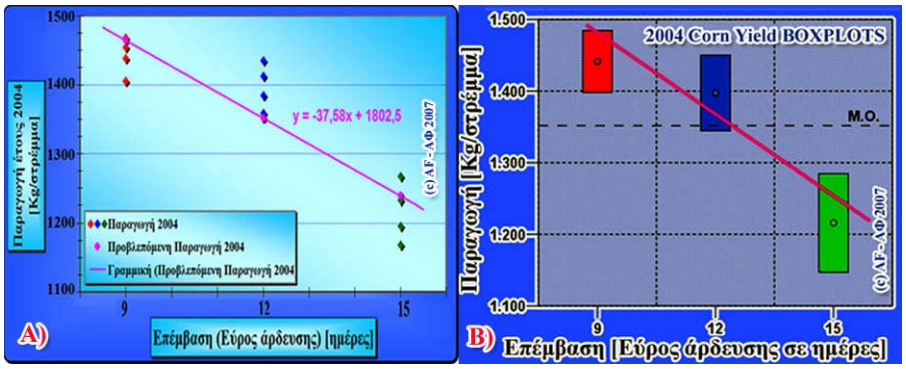


Σχήμα 4. GIS χάρτες με την υπεδάφια κατανομή της ΕΔΥ μέχρι βάθους 0,75 m.

Από τη στατιστική επεξεργασία προσδιορίστηκε η σχέση μεταξύ της παραγωγής σε καρπό του αραβοσίτου και του εύρους άρδευσης. Η σχέση αυτή δίνεται από την εξίσωση (1):

$$Y = -37{,}58X + 1.802{,}5 \qquad (1)$$

με R^2=0,9, όπου Y είναι ο παραγόμενος καρπός σε Kg/στρέμμα και X είναι το εύρος άρδευσης της καλλιέργειας σε ημέρες. Ο υψηλός βαθμός συσχέτισης δείχνει τη σημαντική εξάρτηση της απόδοσης της καλλιέργειας από το εύρος άρδευσης.



Σχήμα 5. Α) Διάγραμμα αποδόσεων των 12 πειραματικών τεμαχίων.
Β) Διάγραμμα box plot της διακύμανσης της παραγωγικότητας του αραβοσίτου.

Διευκρινίζεται ότι οι αποδόσεις που φαίνονται στο *Σχήμα 5* και στον *Πίνακα 2*, αντιστοιχούν σε υγρασία 14 % των κόκκων αραβοσίτου.

Πίνακας 2. Στατιστική ανάλυση παραγωγικότητας αραβοσίτου έτους 2004.

Επέμβαση	Εύρος άρδευσης [ημέρες]	Αριθμός παρατηρή-σεων	Τυπική απόκλιση	Μ.Ο. Παραγωγής [Kg/στρ]
E9	9	4	27,10849	1.441,350 ΣΣ*
E12	12	4	33,12111	1.397,378 ΣΣ*
E15	15	4	43,19004	1.215,872 ΣΣ*
Σύνολο Επεμβάσεων		12	106,76316	1.351,533

Επέμβαση	Στατιστικό test	Τιμή F-test	Σημαντικότητα F
Όλες	ANOVA	46,368	0,000 *
Μεταξύ τους	Dunnett T3	-	ΣΣ*=Στατιστικώς Σημαντικό

(*Επίπεδο σημαντικότητας p<0,05).

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σε πείραμα που διενεργήθηκε το έτος 2004 στο αγρόκτημα του Τ.Ε.Ι./Λάρισας μελετήθηκε η επίδραση του εύρους άρδευσης (ανά 9, 12 και 15 ημέρες), της υδατικής καταπόνησης του φυτού και της εξάντλησης της διαθέσιμης υγρασίας (με χρήση μεθόδων και τεχνικών GIS και χωρικής ανάλυσης) στην απόδοση του αραβοσίτου.

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η μεγαλύτερη παραγωγή αραβοσίτου παρατηρήθηκε στην επέμβαση με εύρος άρδευσης 9 ημερών. Ακολούθησε η παραγωγή της επέμβασης με εύρος άρδευσης 12 ημερών και τέλος μικρότερη ήταν η παραγωγή στην επέμβαση των 15 ημερών. Οι διαφορές αυτές ήταν στατιστικά σημαντικές (με $p<0,05$). Επίσης προσδιορίστηκε η σχέση μεταξύ της παραγωγής σε καρπό του αραβοσίτου και του εύρους άρδευσης, η οποία δίνεται από την εξίσωση (1):

$$Y = -37,58X + 1.802,5 \qquad (1)$$

με R^2=0,9, όπου Y είναι ο παραγόμενος καρπός σε Kg/στρέμμα και X είναι το εύρος άρδευσης της καλλιέργειας σε ημέρες. Το εύρος άρδευσης επέδρασε αρνητικά στην απόδοση των επεμβάσεων 12 και 15 ημερών παρά τις μικρότερες απώλειες λόγω εξάτμισης, και προκάλεσε σημαντικά υψηλότερες τιμές ΕΔΥ (όπως λεπτομερώς έδειξε η χαρτογράφηση GIS). Το γεγονός αυτό οδήγησε τα φυτά σε περιοδικές υδατικές καταπονήσεις (στρες), κατά τους μήνες Ιούλιο-Αύγουστο, με αποτέλεσμα την στατιστικά σημαντική μείωση της παραγωγής των επεμβάσεων Ε15 και Ε12.

Συμπερασματικά προκύπτει ότι η άρδευση για τις συγκεκριμένες εδαφοκλιματικές συνθήκες (αργιλώδες έδαφος και μεσογειακού τύπου Csa κλίμα κατά Köppen [12], ή XERIC MOISTURE REGIME [17]), θα πρέπει να γίνεται κάθε 9 ημέρες αντί για 12 ή 15 ημέρες (όπως συχνά συμβαίνει στην περιοχή).

Τα πειράματα συνεχίζονται με διαφορετικές τιμές εύρους άρδευσης και σε άλλους τύπους εδαφών, ώστε να προκύψουν περισσότερα και ασφαλέστερα συμπεράσματα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.

1. Musick, J.T., Pringle, F.B., Harman, W.L., and Stewart B.A., 1990. Long-term irrigation trends: Texas High Plains. *Appl. Eng. Agric.* 6: 717-724.
2. Φιλίντας, Θ.Αγ., 2003. *Καλλιέργεια Αραβοσίτου στην Ελλάδα: Αύξηση και ανάπτυξη, διαχείριση, απόδοση και περιβαλλοντικές επιπτώσεις*, Τμήμα Περιβάλλοντος, Σχολή Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Μυτιλήνη, Ελλάδα.
3. Doorenbos, J., Kassam A.H., 1986. *Yield Response to Water, FAO Irrigation and Drainage Paper 33,* FAO, Rome, Italy, pp.101-104.

4. Gill, K.S., Gajri, P.R., Chaudhary, M.R., Singh, B., 1996. Tillage, mulch and irrigation effects on corn (Zea mays L.) in relation to evaporative demand. *Soil & Tillage Research*, 39: 213-227.
5. Zarogiannis, V., 1979. Beregnung und Standraum bei Mais (Zea mays L.) fur Bodenkultur. *In Wien,* 30(3): 281-303.
6. Danalatos, G.N., 1992. *Quantified analysis of selected land use systems in the Larissa region, Greece,* PhD Thesis, Agricultural University, Wageningen, pp.133, 175-207.
7. Ντιούδης, Π., Φιλίντας, Αγ., Λέλλης, Θ. και Σακελλαρίου, Μ., 2003. Παραγωγικότητα καλλιέργειας αραβοσίτου συναρτήσει του εύρους άρδευσης με σύστημα στάγδην, *Πρακ. 3ου Παν. Συν. Γεωργικής Μηχανικής*, Θεσσαλονίκη, Ελλάδα- Μάϊος 2003, σελ.69-76.
8. Filintas, Th.Ag., Dioudis, I.P., Pateras, T.D., Hatzopoulos, N.J. and Toulios, G.L., 2006. Drip Irrigation Effects in Movement, Concentration and allocation of Nitrates and Mapping of Nitrates with GIS in an Experimental Agricultural Field. *Proc. of Int. Conference on: Information Systems in Sustainable Agriculture, Agroenvironment and Food Technology(HAICTA),* Volos, Greece- September 2006, pp.253-262.
9. Filintas, Th.Ag., Dioudis, P., Koutseris, E., 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. *Proc.of 3rd Int. Conference on: Energy, Environment, Ecosystems and Sustainable Development (EEESD'07),* Agios Nikolaos, Crete Island, Greece- July 2007, pp.486-492.
10. Rench, W.E., Shaw, R.H., 1971. Black layer development in corn. *Agron. Journal,* 63: 303-305.
11. Weatherhead, E.K., Danert, K., 2002. *Survey of irrigation of outdoor crops in 2001 – England,* Cranfield University, Silsoe.
12. Φιλίντας, Θ.Αγ., 2005. *Συστήματα χρήσης γης με έμφαση στα γεωργικά μηχανήματα στις αρδεύσεις και στην νιτρορύπανση, με χρήση Δορυφορικής Τηλεπισκόπησης, Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών και Μοντέλων, σε επίπεδο λεκάνης απορροής στην Κεντρική Ελλάδα,* Μεταπτυχιακή Διατριβή, Τμήμα Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Μυτιλήνη, Ελλάδα.
13. Cary, J.W. and Fisher, H.D., 1983. Irrigation decision simplified with electronics and soil water sensors. *Soil Science Society of American Journal,* Vol. 47, 1219-1223.
14. Charlesworth, P., 2000. *Soil Water Monitoring,* CSIRO Land and Water, Australia.
15. E.S.I.-Enviromental Sensors, INC., 1997. *MP-917 Soil Moisture Instrument Operational Manual.* E.S.I., Canada.
16. Allen, R.G., Pereira, S.L., Raes, D. and Smith, M., 1998. *Crop Evapotranspiration Guidelines for computing crop water requirements, FAO Irrigation and Drainage Paper 56,* FAO, Rome, Italy.
17. Soil Survey Staff, 1975. *Soil Taxonomy: A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys,* USDA Natural Resources Conservation Service. USA.

(207)

ΝΕΟΙ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΤΩΝ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ ΤΗΣ ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗΣ

Β. Άμπας[1], Ε. Μπαλτάς[2] και Δ. Παπαμιχαήλ[2]
[1] Νομαρχιακή Αυτοδιοίκηση Φλώρινας, Πτολεμαίων 1, 53100 Φλώρινα, ambasv@gmail.com
[2] Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Γεωπονική Σχολή, Τομέας Εγγείων Βελτιώσεων, Γεωργ. Μηχ. & Εδαφ., Τ.Κ. 54124, Θεσ/νίκη

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι να δοθούν νέες σχέσεις για τον υπολογισμό του συντελεστή b της τροποποιημένης μεθόδου Blaney and Criddle για τον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας αναφοράς. Οι υφιστάμενες σχέσεις των Frevent et al. [6] και Allen and Pruit [1] έδωσαν αποκλίσεις 15% και 12% αντίστοιχα σε σχέση με τις τιμές που δίνονται από τους αρχικούς πίνακες κατά την εφαρμογή τους σε πραγματικά δεδομένα. Με την χρήση συντελεστών βαρύτητας ανάλογων της συχνότητας εμφάνισης των μετεωρολογικών παραμέτρων που επηρεάζουν τον συντελεστή b δίνεται σχέση που επιτυγχάνει καλύτερη προσαρμογή του συντελεστή b.

NEW FACTORS FOR THE ESTIMATION OF THE EVAPOTRANSPIRATION PARAMETERS

V. Ampas[1], E. Mpaltas[2] D. Papamichail[2]
[1] Prefecture of Florina, Ptolemeon 1, 53100, Florina, ambasv@gmail.com
[2] Aristotle University of Thessaloniki, Sch. of Agriculture, Department of Hydraulics, Soil Science and Agriculture Engineering, 54124, Thessaloniki,

ABSTRACT

Aim of this paper is to present new equations for the estimation of the factor b in the modified Blaney and Criddle for reference crop evapotranspiration. The existing relationships of Frevent et al. [6] and Allen and Pruit [1] gave variation 15% and 12%, correspondence, to the initial values that are given in tables. The use of weighting factors gave new correlation coefficients for the estimation of b. The weighting factors were based on the frequency of each meteorological parameter, which influences b, measured in Florina's meteorological stations.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο υπολογισμός της εξατμισοδιαπνοής των καλλιεργειών είναι ένα αντικείμενο πολύ απαραίτητο στα διαχειριστικά σχέδια των υδατικών πόρων, στις μελέτες περιβαλλοντικών επιπτώσεων, στον προγραμματισμό των αρδεύσεων κ.α.

Ένας μεγάλος αριθμός μεθόδων έχει αναπτυχθεί από πάρα πολλούς επιστήμονες σε όλον τον κόσμο για τον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής με διαφορετικά κλιματικά δεδομένα. Η τροποποιημένη μέθοδος Blaney-Cridlle είναι μία από τις μεθόδους που χρησιμοποιούνται ευρέως για τον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας αναφοράς. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί ως μετεωρολογικά δεδομένα την θερμοκρασία, σχετική υγρασία, ταχύτητα του ανέμου, σχετική ηλιοφάνεια και διάφορους συντελεστές οι οποίοι δίνονται από σχέσεις ή πίνακες. Ο συντελεστής b είχε δοθεί μόνο σε πίνακες. Οι Frevert et al (1983) εφαρμόζοντας γραμμική παλινδρόμηση υπολόγισαν τον συντελεστή b με μία σχέση με τις οποία αντικατέστησαν αυτούς τους πίνακες, η σχέση αυτή είχε συντελεστή προσδιορισμού 0.989. Το 1991 οι Allen and Pruit δίνοντας πιο σύνθετη σχέση πέτυχαν ακόμη μεγαλύτερες τιμές του συντελεστή προσδιορισμού που έφτασε το 0.998.

Η εφαρμογή των σχέσεων αυτών σε πραγματικά δεδομένα από τους αυτόματους μετεωρολογικούς σταθμούς του Νομού Φλώρινας έδινε ένα μεγαλύτερο σφάλμα από το αναμενόμενο. Η διερεύνηση του σφάλματος αυτού οδήγησε στο συμπέρασμα ότι οι σχέσεις αυτές δίνουν πολύ καλά αποτελέσματα στο σύνολο του πίνακα, δηλαδή δίνουν πολύ καλά αποτελέσματα ακόμη και σε ακραίες τιμές των μετεωρολογικών παραμέτρων, που δεν είναι συχνές, ενώ σε συχνές τιμές των μετεωρολογικών παραμέτρων δίνουν λιγότερο ικανοποιητικά αποτελέσματα.

Τα αποτελέσματα μπορούν να βελτιωθούν με τη χρήση συντελεστών βαρύτητας. Έτσι δίνονται νέες σχέσεις για τον υπολογισμό του συντελεστή b ώστε τα αποτελέσματα να είναι πιο σωστά στις συνήθεις τιμές των μετεωρολογικών παραμέτρων.

2. Η ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΜΕΘΟΔΟΣ BLANEY – CRIDLLE ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΤΗΣ ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗΣ ΤΗΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ

Οι Doorenbos and Pruitt το 1977 τροποποιώντας ριζικά την αρχική σχέση των Blaney and Criddle έδωσαν μια νέα μορφή που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς από χορτοτάπητα. Η μέθοδος αυτή αναφέρεται σαν τροποποιημένη μέθοδος Blaney and Criddle κατά FAO-24 γιατί βασίζεται στη γραμμική σχέση που παρατηρήθηκε μεταξύ μετρημένων τιμών της εξατμισοδιαπνοής και του παράγοντα f των Blaney and Criddle σε διάφορες πειραματικές θέσεις σε πολλά μέρη του κόσμου. Η σχέση αυτή έχει τη μορφή:

$$ET_o = a + bf \qquad (1)$$

Όπου :

$$f = (0{,}46T+8{,}13)p \qquad (2)$$

$$a = 0{,}0043RHmin-n/N-1.41 \qquad (3)$$

ET_o, η εξατμισοδιαπνοή αναφοράς με βάση χορτοτάπητα σε mm/d,

T, η μέση ημερήσια θερμοκρασία της ατμόσφαιρας σε ^oC,

p, το ημερήσιο ποσοστό ωρών ημέρας του έτους που δίνεται σε Πίνακες,

RH_{min}, η ελάχιστη σχετική υγρασία της ατμόσφαιρας σαν ποσοστό %,

n/N, η σχετική ηλιοφάνεια (n είναι η πραγματική ημερήσια ηλιοφάνεια, N είναι η

μέγιστη ηλιοφάνεια που δίνεται από πίνακες ή σχέσεις),

U_2, η ταχύτητα του ανέμου κατά τη διάρκεια της ημέρας σε ύψος 2m πάνω από το έδαφος σε m/s.

b, συντελεστής που δίνεται από πίνακα σαν συνάρτηση της ελάχιστης σχετικής υγρασίας, της σχετικής ηλιοφάνειας και της ταχύτητας του ανέμου.

Πίνακας 1. Τιμές του συντελεστή b της τροποποιημένης μεθόδου των Blaney and Criddle για U_2=0.

n/N	RH_{min}						
	0	20	40	60	80	100	
0,0	0,84	0,80	0,74	0,64	0,52	0,38	U=0
0,2	1,03	0,95	0,87	0,76	0,63	0,48	
0,4	1,22	1,10	1,01	0,88	0,74	0,57	
0,6	1,38	1,24	1,13	0,99	0,85	0,66	
0,8	1,54	1,37	1,25	1,09	0,94	0,75	
1,0	1,68	1,50	1,36	1,18	1,04	0,84	

2.1. Σχέσεις υπολογισμού του συντελεστή b

Για τον ευκολότερο και αμεσότερο υπολογισμό του συντελεστή b οι Frevert et al. (1983) χρησιμοποιώντας τις τρεις μεταβλητές (RH_{min}, n/N, U_2) και δύο ψευδομεταβλητές έδωσαν τη σχέση:

$$b = 0.81917 – 0.0040922\ RH_{min}, + 1.0705 n/N + 0.065649\ U_2 - 0.0059684\ RH_{min}\ n/N – 0.0005967\ RH_{min}\ U_2 \quad (4)$$

Η σχέση αυτή είχε συντελεστή προσδιορισμού r^2=0.989 και μέσο τετραγωνικό άθροισμα τετραγώνων (RMSE) 0.0055. Η μέγιστη τιμή της ποσοστιαίας διαφοράς του σφάλματος ήταν 14.9%.

Στον παρακάτω πίνακα 2 φαίνεται η μέση τιμή του μέσου τετραγωνικού αθροίσματος τετραγώνων του σφάλματος (RMSE) για τη σχέση των Frevert et al, όταν διατηρούμε σταθερές κάθε μία από τις διακριτές τιμές των μετεωρολογικών μεταβλητών που υπάρχουν στον αρχικό πίνακα των Doorenbos and Pruitt. Από την εξέταση αυτού του πίνακα παρατηρούμε πως η σχέση των Frevert et al. δεν δίνει εξίσου καλά αποτελέσματα για όλες τις τιμές των μετεωρολογικών δεδομένων. Έτσι, εξετάζοντας τον πίνακα 2, διαπιστώνουμε πως όταν η ταχύτητα του ανέμου (U_2) είναι 0, ή όταν η ελάχιστη σχετική υγρασία (RH_{min}) είναι 0, ή όταν η σχετική ηλιοφάνεια (n/N) είναι 1 η σχέση δεν δίνει πολύ καλά αποτελέσματα.

Πίνακας 2. Μέσο τετραγωνικό άθροισμα τετραγώνων του σφάλματος (RMSE) για κάθε είδος μετεωρολογικών δεδομένων της σχέσης των Frevert et al

U_2	RMSE	RH_{min}	RMSE	n/N	RMSE
$0 \le n/N \le 1$, $0 \le RH_{min} \le 100$		$0 \le n/N \le 1$, $0 \le U_2 \le 10$		$0 \le U_2 \le 10$, $0 \le RH_{min} \le 100$	
0	0,01227	0	0,0130	0,0	0,0097
2	0,00548	20	0,0094	0,2	0,0065
4	0,00492	40	0,0076	0,4	0,0050
6	0,00620	60	0,0066	0,6	0,0056
8	0,00654	80	0,0033	0,8	0,0081
10	0,01000	100	0,0042	1,0	0,0113

Μια άλλη σχέση για τον υπολογισμό του συντελεστή b δόθηκε αργότερα από τους Allen and Pruitt (1991) με την χρήση των δύο μεταβλητών και έξι ψευδομεταβλητών:

$$b = 0.908 - 0.00483\ RH_{min}, + 0.7949n/N + 0.0768\ [\ln(U_2+1)]^2 - 0.0038\ RH_{min}\ n/N - 0.000443\ RH_{min}\ U_2 + 0.281\ [\ln(U_2+1)]\ [\ln(n/N+1)] - 0.00975[\ln(Ud+1)][\ln(RH_{min}+1)]2[\ln(n/N+1)] \quad (5)$$

Η σχέση αυτή είχε συντελεστή προσδιορισμού r^2=0.998, και μέσο τετραγωνικό άθροισμα τετραγώνων του σφάλματος (RMSE) 0.0013. Η μέγιστη τιμή της ποσοστιαίας διαφοράς του σφάλματος ήταν 11.8%.

Στον παρακάτω πίνακα 3 φαίνεται η μέση τιμή του μέσου τετραγωνικού αθροίσματος τετραγώνων του σφάλματος (RMSE) για τη σχέση των Allen and Pruit, όταν διατηρούμε σταθερές κάθε μία από τις διακριτές τιμές των μετεωρολογικών μεταβλητών που υπάρχουν στον αρχικό πίνακα των Doorenbos and Pruitt. Από την εξέταση αυτού του πίνακα παρατηρούμε πως η σχέση των Allen and Pruitt δεν δίνει εξίσου καλά αποτελέσματα για όλες τις τιμές των μετεωρολογικών δεδομένων. Έτσι όταν η ταχύτητα του ανέμου (U_2) είναι 0, ή όταν η ελάχιστη σχετική υγρασία (RH_{min}) είναι 0, ή όταν η σχετική ηλιοφάνεια (n/N) είναι 0 η σχέση δεν δίνει, σχετικά, πολύ καλά αποτελέσματα.

Πίνακας 3. Μέσο τετραγωνικό άθροισμα τετραγώνων του σφάλματος (RMSE) για κάθε είδος μετεωρολογικών δεδομένων της σχέσης των Allen and Pruit

U_2	RMSE	RH_{min}	RMSE	n/N	RMSE
0≤n/N≤1, 0≤RH_{min}≤100		0≤n/N≤1, 0≤U_2≤10		0≤ U_2≤10, 0≤RH_{min}≤100	
0	0,00417	0	0,0045	0,0	0,0041
2	0,00363	20	0,0024	0,2	0,0035
4	0,00278	40	0,0030	0,4	0,0033
6	0,00247	60	0,0032	0,6	0,0029
8	0,00238	80	0,0022	0,8	0,0027
10	0,00372	100	0,0038	1,0	0,0029

3. ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΤΩΝ ΣΧΕΣΕΩΝ ΣΤΙΣ ΤΙΜΕΣ ΤΟΥ ΠΙΝΑΚΑ

Ο προσδιορισμός μαθηματικών σχέσεων από ορισμένα διακεκριμένα σημεία μιας συνάρτησης (που μπορούν π.χ. να προέρχονται από κάποια πειραματική διαδικασία), προκύπτει πολλές φορές κατά την μελέτη πρακτικών ή θεωρητικών προβλημάτων. Οι μαθηματικές αυτές σχέσεις είναι πολύ χρήσιμες για τον υπολογισμό αγνώστων τιμών της συνάρτησης ή για τον υπολογισμό των διαφόρων παραγώγων της. Στόχος του προσδιορισμού είναι η μαθηματική σχέση να περιγράφει όσο το δυνατόν πιο ικανοποιητικά τα διακριτά σημεία και όχι να υπολογίζει (περνά) ακριβώς όλα σημεία μιας και γίνεται δεκτό ότι όλα αυτά περιέχουν πάντοτε κάποιο τυχαίο σφάλμα.

Η γραμμική παλινδρόμηση είναι η πιο συνηθισμένη μέθοδος για τον προσδιορισμό της μαθηματικής σχέσης ανάμεσα σε δεδομένα. Η μέθοδος στηρίζεται στη ελαχιστοποίηση της αντικειμενικής συνάρτησης του αθροίσματος των τετραγώνων των διαφορών ανάμεσα στις δοσμένες και υπολογισμένες τιμές.

$$\min \sum \left(b_i - bc_i\right)^2 \quad (6)$$

Ανάλογα με τον αριθμό των μεταβλητών ή ψευδομεταβλητών (μετασχηματισμών) που επιλέγουμε να έχουμε, η ελαχιστοποίηση επιτυγχάνεται με την επίλυση ενός συστήματος εξισώσεων, που ονομάζονται κανονικές εξισώσεις. Η επίλυση του συστήματος των εξισώσεων μας δίνει τους συντελεστές των μεταβλητών.

Η γραμμική παλινδρόμηση εφαρμόσθηκε και από τις δύο ομάδες επιστημόνων για την εξαγωγή των σχέσεων (4) και (5).

Μία σημαντική παραδοχή που γίνεται κατά την εφαρμογή των ελαχίστων τετραγώνων είναι η ομοσκεδαστικότητα, σύμφωνα με την οποία η διακύμανση του υπολειμματικού σφάλματος είναι σταθερό για όλες τις τιμές των μεταβλητών. Αν οι μεταβλητές έχουν διαφορετική διακύμανση σφάλματος σε διάφορα εύρη τιμών τότε οι εκτιμημένοι συντελεστές παλινδρόμησης θα δίνουν υπερβολικά μεγάλο σφάλμα σε κάποια εύρη τιμών και υπερβολικά μικρό σφάλμα σε άλλα εύρη.

Η παραπάνω παραδοχή μπορεί να αντισταθμισθεί με τη χρήση συντελεστών βαρύτητας. Η μέθοδος τότε ονομάζεται σταθμισμένα τετράγωνα και η αντικειμενική συνάρτηση που πρέπει να ελαχιστοποιηθεί είναι:

$$\min \sum w_i \left(b_i - bc_i\right)^2 \tag{7}$$

Λαμβάνοντας υπ' όψη ότι:

- η διακύμανση της διαφοράς ανάμεσα σε υπολογισμένες τιμές και στις τιμές από τον πίνακα δεν είναι σταθερή, όπως φαίνεται από τους πίνακες 2 και 3.
- μας ενδιαφέρει οι σχέσεις να έχουν καλύτερη προσαρμογή στις τιμές οι οποίες παρατηρούνται πιο συχνά κατά την εφαρμογή τους σε πραγματικά δεδομένα

συμπεραίνουμε ότι πρέπει να χρησιμοποιήσουμε σταθμισμένα ελάχιστα τετράγωνα. Επιλέγοντας κατάλληλους συντελεστές βαρύτητας, οι οποίοι σχετίζονται με τη συχνότητα εμφάνισης των μετεωρολογικών παραμέτρων που επηρεάζουν το συντελεστή b, θα επιτευχθεί καλύτερη προσαρμογή της σχέσης στα εύρη τιμών που έχουν μεγαλύτερη συχνότητα, δηλαδή οι υπολογισμένες τιμές θα δίνουν μικρότερη διαφορά στις πιο συχνές τιμές και μεγαλύτερη διαφορά στις πιο σπάνιες τιμές. Έτσι μεγαλύτερος αριθμός πραγματικών δεδομένων θα υπολογισθεί με μικρότερο σφάλμα, συνεπώς το μέσο τετραγωνικό σφάλμα θα μειωθεί.

4. ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Στον νομό της Φλώρινας λειτουργούν 9 αυτόματοι μετεωρολογικοί σταθμοί. Από τους τέσσερις πεδινούς μετεωρολογικούς σταθμούς, που έχουν τα μετεωρολογικά δεδομένα που χρειάζονται, υπάρχει ένα σύνολο 5056 ημερήσιων μετεωρολογικών δεδομένων με ταυτόχρονες παρατηρήσεις σχετικής υγρασίας, ταχύτητας ανέμου και διάρκειας ηλιοφάνειας.

Αν υπολογίσουμε για τις 5056 μετεωρολογικές μετρήσεις τις τιμές του συντελεστή b από τον πίνακα και τις συγκρίνουμε με τις τιμές που υπολογίζονται από τις δύο σχέσεις το μέσο τετραγωνικό άθροισμα τετραγώνων του σφάλματος (RMSE) θα πάρει την τιμή 0.00065 για την σχέση των Frevert et al. και 0.00030 για την σχέση των Allen and Pruitt.

Σχήμα 1. Νομός Φλώρινας

Για την εφαρμογή των σταθμισμένων ελαχίστων τετραγώνων χρησιμοποιούνται συντελεστές βαρύτητας οι οποίοι υπολογίζονται από την σχέση:

$$w_i=f(RH_{min}) * g(U_2) * h(n/N), \quad (8)$$

όπου $f(RH_{min})$, $g(U_2)$, $h(n/N)$ είναι οι μερικοί συντελεστές βαρύτητας για κάθε μία από τις μετεωρολογικές παραμέτρους που επηρεάζουν το συντελεστή b. Κάθε ένας από τους μερικούς συντελεστές βαρύτητας ισούται με την σχετική συχνότητα εμφάνισης που αντιστοιχεί στο εύρος της διακριτής τιμής i.

Έτσι τα δεδομένα αυτά χωρίσθηκαν σύμφωνα με τις κλάσεις του πίνακα που δίνει τον συντελεστή b και παίρνουμε τις συχνότητες εμφάνισης των τιμών σε κάθε μια κλάση.

Πίνακας 4. Εκατοστιαίο ποσοστό εμφάνισης μετεωρολογικών δεδομένων

n/N		U_2		RH_{min}	
0,0-0.2	15,50%	0-2	75,19%	0-20	2,45%
0.2-0.4	9,03%	2-4	19,55%	20-40	30,68%
0.4-0.6	11,53%	4-6	4,55%	40-60	33,29%
0.6-0.8	22,23%	6-8	0,63%	60-80	23,43%
0.8-1.0	41,72%	8-10	0,08%	80-100	10,16%

Αναλύοντας την συχνότητα εμφάνισης των μετεωρολογικών δεδομένων στα όρια των κλάσεων παίρνουμε τους συντελεστές βαρύτητας για τις διακριτές τιμές του πίνακα:

Πίνακας 5. Συντελεστές βαρύτητας για το Ν. Φλώρινας

n/N		U_2		RH_{min}	
0	8	0	37,5	0	1
0.2	12	2	47	20	16,5
0,4	10	4	13	40	32
0,6	17	6	2,5	60	28,5
0,8	32	8	0	80	17
1,0	21	10	0	100	5

Εδώ θα πρέπει να συγκρίνουμε τους πίνακες 2 και 3 που δίνουν το σφάλμα (RMSE) με τον παραπάνω πίνακα 5. Παρατηρούμε πως εκεί που έχουμε την μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης μετεωρολογικών δεδομένων έχουμε και μεγάλο, σχετικά, σφάλμα.

Χρησιμοποιώντας τους όρους της σχέσης των Frevert et al. Η ελαχιστοποίηση της αντικειμενικής συνάρτησης μας δίνει την σχέση:

$$b = 0,88165 + 0,857596\ n/N - 0,00454\ RH_{min} + 0,093803\ U_2 - 0,00405\ RH_{min}\ n/N - 0,00087\ RH_{min}\ U_2 \quad (9)$$

Για τις 5056 μετεωρολογικές μετρήσεις που καταγράφηκαν στον Νομό της Φλώρινας το μέσο τετραγωνικό άθροισμα τετραγώνων του σφάλματος (RMSE) που δίνει η παραπάνω σχέση είναι 0.00023 μικρότερο από αυτό που δίνουν και οι δύο άλλες σχέσεις.

Για το σύνολο του Ελλαδικού γεωργικού χώρου και θεωρώντας ότι επικρατεί υψηλή ηλιοφάνεια, ασθενείς και μέτριοι άνεμοι και μέση σχετική υγρασία έχουμε τους συντελεστές βαρύτητας του παρακάτω πίνακα 6.

Πίνακας 6. Συντελεστές βαρύτητας

n/N		U_2		RH_{min}	
0	0	0	20	0	5
0,2	0	2	30	20	20
0,4	10	4	30	40	40
0,6	30	6	15	60	30
0,8	40	8	5	80	5
1,0	20	10	0	100	0

Τότε η σχέση υπολογισμού του συντελεστή b δίνεται από την σχέση:

$$b = 0,78652 + 1,00859\ n/N - 0,0026183\ RH_{min} + 0,0915796\ U_2 - 0,0065518\ RH_{min}\ n/N - 0,0009565\ RH_{min}\ U_2 \quad (10)$$

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα εργασία εξετάστηκαν οι σχέσεις των Frevert et al (1983), και Allen and Pruit (1991) που έχουν δοθεί για τον υπολογισμό του συντελεστή b της τροποποιημένης μεθόδου Blaney and Criddle υπολογισμού της εξατμισοδιαπνοής.

Οι σχέσεις που έχουν δοθεί ελαχιστοποιούν το άθροισμα των τετραγώνων των διαφορών, χρησιμοποιώντας όλο το φάσμα των παραμέτρων του πίνακα εξίσου. Από την σύγκριση των τιμών των σχέσεων και των πινάκων παρατηρήθηκε πως για κάποιες τιμές των μετεωρολογικών παραμέτρων υπάρχει μεγαλύτερη απόκλιση.

Από τα ημερήσια δεδομένα των αυτόματων μετεωρολογικών σταθμών εντοπίσθηκαν οι τιμές των $RH_{min,}$ n/N, $U_{2,}$ που έχουν τη μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης.

Οι τιμές με ταχύτητα U_2=0 εμφανίσθηκε η μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης μετεωρολογικών παρατηρήσεων αλλά και η μεγαλύτερη απόκλιση των τιμών που δίνουν οι σχέσεις των Frevert et al., και Allen and Pruit με τις τιμές του πίνακα.

Με σκοπό την καλύτερη προσαρμογή των σχέσεων στις συχνότερες τιμές εμφάνισης των μετεωρολογικών δεδομένων, και όχι στις ακραίες τιμές, εξετάσθηκε η χρησιμοποίηση συντελεστών βαρύτητας στην ελαχιστοποίηση της αντικειμενικής συνάρτησης. Οι συντελεστές βαρύτητας υπολογίσθηκαν από τις σχετικές τιμές εμφάνισης των μετεωρολογικών δεδομένων.

Με την χρήση των συντελεστών βαρύτητας, δόθηκε νέα σχέση υπολογισμού του συντελεστή b χρησιμοποιώντας τους όρους της σχέσης των Frevert et al, που είναι πιο

απλοί από του όρους της σχέσης των Allen and Pruit.

Εφαρμογή της νέας σχέσης (11) στα μετεωρολογικά δεδομένα από τους μετεωρολογικούς σταθμούς της Φλώρινας έδωσε μέσο τετραγωνικό άθροισμα τετραγώνων των διαφορών ανάμεσα στις τιμές που υπολογίζονται από τον πίνακα και τη σχέση 0.00023. Οι αντίστοιχες τιμές για την σχέση Frevert et al και Allen and Pruit είναι 0.00065 και 0.00030 αντίστοιχα.

Πρέπει να χρησιμοποιηθούν συντελεστές βαρύτητας για την εκτίμηση του συντελεστή b ώστε να προσαρμόζεται καλύτερα σε παρατηρούμενες τιμές των μετεωρολογικών παραμέτρων. Έτσι στις συνήθεις τιμές μετεωρολογικών δεδομένων θα υπάρχει σωστότερος υπολογισμός της εξατμισοδιαπνοής.

Συμπερασματικά, σε κάθε νέα σχέση θα πρέπει να εξετάζεται η ομοιομορφία προσαρμογής της σε δεδομένα. Θα πρέπει να χρησιμοποιούνται συντελεστές βαρύτητας ώστε τα αποτελέσματα να προσαρμόζονται στις καλύτερα σε επιλεγμένες τιμές.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Allen, R.G. and W. O. Pruitt, 1991. FAO-24 reference evapotranspiration factors. J. Irrigation and Drainage Engng., ASCE117(IR5): 758-773.
2. Άμπας Β., 1996. Αυτόματη βαθμονόμηση μαθηματικών μοντέλων ανοιχτών αγωγών, Διπλωματική Μεταπτυχιακή διατριβή, Α.Π.Θ.
3. Blaney H.F. and Criddle W.D., 1950. Determining water requirements in irrigated areas from climatological and irrigation data. U.SDA. Soil Conservation Service SCS – TP96.
4. Blaney H.F. and Criddle W.D., 1962. Determining consumptive use and irrigation water requirements. U.S.D.A. Technical Bull
5. Doorenbos J. and W. O. Pruitt, 1977. Guidelines for prediction crop water requirements. Irrigation and Drainage Paper 24, FAO, Rome, 179
6. Frevert, D.K., R.W. Hill and B.C. Braaten, 1983. Estimation of FAO evapotranspiration coefficients. J. Irrigation and Drainage Engng., ASCE109(IR2): 265-270
7. Μπαμπατζιμόπουλος Χρ., 1991. Αριθμητική Ανάλυση. Α.Π.Θ.
8. Παπαζαφειρίου Ζ., 1999. Οι ανάγκες σε νερό των καλλιεργειών. ΖΗΤΗ. p162-165.
9. Παπαμιχαήλ Δ., 1993. Προχωρημένη μηχανική αρδεύσεων. Α.Π.Θ.
10. Wiens G. E., Egwald Mathematics: Linear Algebra Systems of Linear Equations
11. Garson G. D., 2006, 2007 Weighted Least Squares (WLS) Regression

(212)

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΥΠΟΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗΣ ΚΑΙ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗΣ ΣΤΑΓΔΗΝ ΑΡΔΕΥΣΗΣ ΣΕ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΚΑΛΑΜΠΟΚΙΟΥ

Δ. Καλφούντζος[1], Ι. Αλεξίου[1], Σ. Κωτσόπουλος [1]
[1]ΕΘΙΑΓΕ-Ινστιτούτο Χαρτογράφησης και Ταξινόμησης Εδαφών Λάρισας
Θεοφράστου 1, Λάρισα 413 35, E-mail: kalfountzos@nagref.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η υποεπιφανειακή μέθοδος στάγδην άρδευσης (ΥΣΑ) και η επιφανειακή (ΕΣΑ) εφαρμόστηκαν κατά την διάρκεια των ετών 2004, 2005 και 2006 σε πειραματικό αργό του ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε. Λάρισας με σκοπό την επίδραση της χρήσης του νερού στην καλλιέργεια του καλαμποκιού. Η τοποθέτηση των υπόγειων σταλακτηφόρων σωλήνων έγινε από το έτος 2001 σε βάθος 45 cm από την επιφάνεια του εδάφους. Κατά την διάρκεια των ετών 2001-2003 το σύστημα λειτούργησε κανονικά χωρίς κανένα πρόβλημα για άρδευση σε καλλιέργεια βαμβακιού. Στην παρούσα εργασία έγινε αξιολόγηση της ΥΣΑ και ΕΣΑ σε καλλιέργεια καλαμποκιού με εφαρμογή διαφόρων επιπέδων άρδευσης.

COMPARISON OF A SUBSURFACE AND SURFACE DRIP IRRIGATION SYSTEM ON A MAIZE PLANTATION

D. Kalfountzos[1], I. Alexiou[1], S. Kotsopoulos[1]
[1]National Agricultural Research Foundation, Institute for Soil Mapping and Classification, 1, Theophrastos Str., Larissa 413 35, E-mail: kalfountzos@nagref.gr

ABSTRACT

A subsurface drip irrigation (SSDI) method and a surface (SDI) one were applied during the years 2004, 2005 and 2006 in an experimental field that belongs to the Institutes of the National Agricultural Research Foundation in order to study the effects of water use on maize plantations. The SSDI system was installed during the year 2001 before the crop seeding at a depth 45cm below soil surface. During of the years 2001-2003 the system operated normally for the irrigation of cotton plantation. The present work evaluates the effects of SSDI and SDI systems on a maize plantation under various levels of irrigation water.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Υπάρχουν πολλοί εξωτερικοί παράγοντες που αναγκάζουν τη γεωργική παραγωγή να στραφεί στην προηγμένη τεχνολογία με σκοπό να επιζήσει σε ένα ιδιαίτερα ανταγωνιστικό περιβάλλον. Η Υποεπιφανειακή Στάγδην Άρδευση (ΥΣΑ) είναι η νεότερη και η πιο αποδοτική μέθοδος άρδευσης γεωργικών καλλιεργειών και χλοοταπήτων. Όπως αναφέρουν αρκετοί ερευνητές η ΥΣΑ επιτυγχάνει τις μεγαλύτερες παραγωγές και την υψηλότερη αποδοτικότητα της χρήσης του νερού από οποιαδήποτε άλλη μέθοδο άρδευσης που βρίσκεται σε χρήση ανά τον κόσμο [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8]. Από πειράματα που έγιναν στην Ελλάδα και σε άλλες χώρες, η ΥΣΑ βρίσκει μεγάλη εφαρμογή στην άρδευση γεωργικών και αστικών εκτάσεων με επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων υγρών αστικών αποβλήτων. Η εφαρμογή αυτή έχει σημαντικά οικονομικά και περιβαλλοντικά οφέλη [9, 10].

Στα μειονεκτήματα κατά την εφαρμογή της ΥΣΑ συμπεριλαμβάνονται: το αρχικό κόστος εγκατάστασης το οποίο είναι μεγάλο, υπάρχει πιθανότητα ζημιάς από τα τρωκτικά, το σύστημα είναι δύσκολο να συντηρηθεί και να επιδιορθωθεί, υπάρχει κίνδυνος συσσώρευσης αλάτων μεταξύ των σταλακτηφόρων, η κίνηση του νερού προς τα πάνω μπορεί να είναι οριακή σε χονδρόκοκκα εδάφη. Επίσης η έμφραξη των σταλακτήρων από τις ρίζες και άλλα φερτά υλικά μπορεί να οδηγήσει σε κακή λειτουργία του συστήματος [11]. Τα αποτελέσματα εφαρμογής της ΥΣΑ σε καλλιέργεια καλαμποκιού κατά το έτος 2004 ήταν ενθαρρυντικά [12] και για τον λόγο αυτό κρίθηκε αναγκαία η συνέχεια του πειράματος τα επόμενα δύο έτη.

Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν η σύγκριση της υποεπιφανειακής και Επιφανειακής Στάγδην Άρδευσης (ΕΣΑ) σε καλλιέργεια καλαμποκιού, με εφαρμογή διαφορετικών επιπέδων άρδευσης.

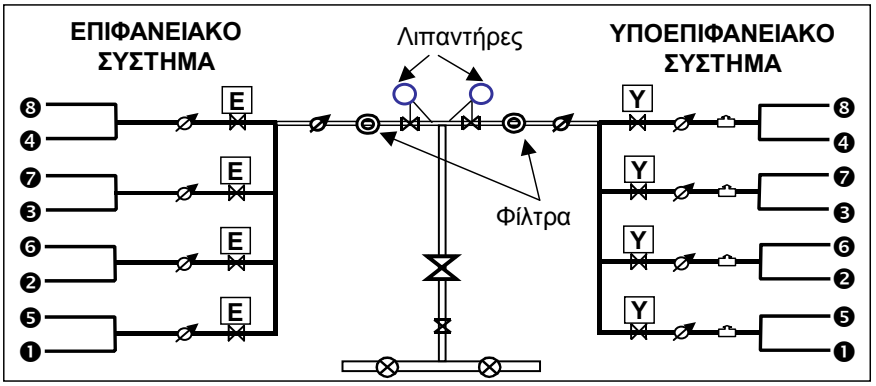
2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1. Περιγραφή εγκατάστασης της ΥΣΑ

Η εγκατάσταση του δικτύου της ΥΣΑ έγινε από το έτος 2001 για την άρδευση πειραματικού αγρού καλλιέργειας βαμβακιού. Το αρδευτικό δίκτυο αποτελούνταν από τον κύριο αγωγό μεταφοράς από PE Φ90/6 Atm και από δευτερεύοντες αγωγούς PE Φ32/6 Atm. Οι σταλακτηφόροι σωλήνες της υποεπιφανειακής και επιφανειακής άρδευσης είχαν ισαποχή 1m και 1,5m αντίστοιχα με μήκος 30 m και ήταν τύπου PC^2/Φ16 της Eurodrip με ενσωματωμένους σταλακτήρες. Οι σταλακτήρες ήταν αυτορυθμιζόμενοι και αυτοκαθαριζόμενοι ισαποχής 1 m, παροχής 3,8 l/h σε πίεση λειτουργίας από 0,5 έως 4,5 atm, με διπλό μηχανισμό αυτοκαθαρισμού, με δύο εισόδους νερού από δύο διαδρομές του λαβύρινθου στην περιοχή αυτορρύθμισης και δύο κανάλια εξόδου ώστε να αποφεύγεται η έμφραξη. Στη κεφαλή του δικτύου (Σχήμα 1) υπήρχαν 2 υδρολιπαντήρες χωρητικότητας 60 lit και 2 φίλτρα σήτας 2 ιντσών.

Μεταξύ της κύριας γραμμής και των γραμμών άρδευσης παρεμβαλλόταν μία ηλεκτροβάνα για τον έλεγχο της ροής στο σύστημα και ένας υδρομετρητής για κάθε σύστημα με σκοπό να ελέγχεται η ακρίβεια των 4 υδρομετρητών της κάθε μεταχείρισης. Μετά το φίλτρο σήτας παρεμβάλλονταν δύο συλλέκτες ένας για το υποεπιφανειακό σύστημα άρδευσης και ένας για το επιφανειακό. Ο κάθε συλλέκτης περιλαμβάνει 4 ηλεκτροβάνες και 4 υδρομετρητές. Κάθε ηλεκτροβάνα με τον υδρομετρητή της συνδέεται με δύο γραμμές άρδευσης που τροφοδοτούν δύο πειραματικά τεμάχια. Κάθε πειραματικό τεμάχιο ΕΣΑ έχει 5 σταλακτηφόρους σωλήνες ενώ κάθε πειραματικό τεμάχιο ΥΣΑ 8 όμοιους σωλήνες. Στην κύρια γραμμή του συστήματος υπήρχε ρυθμιστής πίεσης, κι έτσι το σύστημα λειτουργούσε με σταθερή πίεση 2,5 atm. Από τις

ενδείξεις των υδρομετρητών και την έκταση του κάθε πειραματικού τεμαχίου υπολογίζονταν το ύψος του εφαρμοζόμενου νερού.



Σχήμα 1. Διάταξη κεφαλής αρδευτικού δικτύου

2.2. Περιγραφή του πειράματος

Το πείραμα πραγματοποιήθηκε στο αγρόκτημα του ΕΘΙΑΓΕ στη Λάρισα (γ.π. $39,63^0$, γ.μ. $22,37^0$). Από τις αναλύσεις εδάφους και την ταξινόμησή του που έγιναν από το Ινστιτούτο Χαρτογράφησης και Ταξινόμησης Εδαφών Λάρισας, φαίνεται ότι είναι αργιλώδες (Πίνακας 1) και ανήκει στην υποομάδα των Calcic Chromoxerert των Vertisols. Η κατεργασία του πειραματικού αγρού έγινε με τις συνήθεις για την περιοχή καλλιεργητικές πρακτικές (όργωμα με άροτρο και προετοιμασία σποράς με ελαφρού τύπου καλλιεργητή). Η λιπαντική αγωγή καθορίστηκε από τις αναλύσεις εδάφους και πραγματοποιήθηκε με υδρολίπανση σε τέσσερις δόσεις με τις ίδιες ποσότητες και στις δύο μεταχειρίσεις.

Η υδραυλική αγωγιμότητα του εδάφους στην κατάσταση κορεσμού, μετρήθηκε με τη συσκευή GUELPH PERMEAMETER MODEL 2800 σε βάθη 15 και 45 cm από την επιφάνεια του εδάφους και βρέθηκε 5,22 και 7,55 mm/h αντίστοιχα.

Πίνακας 1. Φυσικές ιδιότητες του εδάφους

Βάθος (cm)	Μηχανική σύσταση				ΦΕΒ	ΥΙ	ΣΜ
	Άμμος %	Ιλύς %	Αργιλλος%	Χαρ/μός	gr/cm^3	% κ.β	% κ.β
0-30	30	20	50	C	1,11	32,69	17,86
30-65	30	18	52	C	1,12	34,13	18,65
65-100	26	18	56	C	1,22	35,74	19,53
100+	28	16	56	C	1,22	35,15	19,31

Στις 13 Μαρτίου 2005 έγινε σπορά καλαμποκιού ποικιλίας 32F10-X013/PIONEER και στις 7 Απριλίου 2006 αντίστοιχα.

Ο πειραματικός αγρός διαστάσεων 80 x 65 = 5200 m^2, χωρίστηκε σε δύο μέρη. Στο μισό αγρό εγκαταστάθηκε η επιφανειακή άρδευση και στο άλλο μισό η υποεπιφανειακή. Και στις δύο περιπτώσεις εφαρμόστηκαν τέσσερα επίπεδα άρδευσης ίσα με το 120% (Α), το 100% (Β), το 80% (Γ) και το 60% (Δ) της υδατοκατανάλωσης, σε τέσσερις επαναλήψεις. Κάθε πειραματικό τεμάχιο είχε πλάτος 8 m (κάθετα στις γραμμές σποράς) και μήκος 15 m περίπου (παράλληλα στις γραμμές σποράς). Οι υπόγειοι σταλακτηφόροι σωλήνες ήταν ήδη τοποθετημένοι από προηγούμενο πείραμα ανά 1 μέτρο μεταξύ των με τη βοήθεια ειδικής κατασκευής (υπεδαφοθέτη) και σε βάθος 45 cm.

Από κάθε επανάληψη του πειράματος συλλέχθηκε και ζυγίστηκε χωριστά για κάθε γραμμή η παραγωγή από τμήμα της έκτασης εμβαδού 2,5 m^2 (3 γραμμές με ισαποχή 0,75 m και μήκος 3 μέτρα). Η συλλογή έγινε με το χέρι στις 28 Σεπτεμβρίου 2005 και στις 10 Οκτωβρίου 2006.

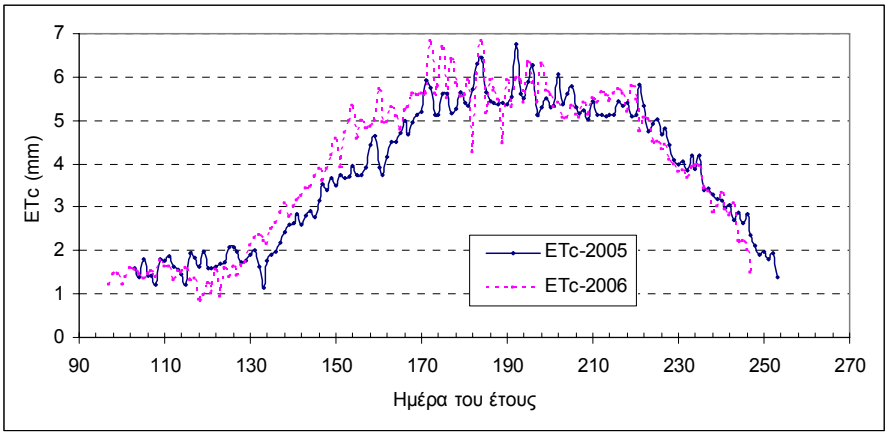
2.3. Υδατοκατανάλωση

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 έγινε με τη χρήση της αναθεωρημένης μεθόδου Penman-Monteith κατά FAO-56 [13].

Η δυναμική εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας, (Σχήμα 2) υπολογίζονταν από την ET_r και τον απλό φυτικό συντελεστή [13] με τη σχέση:

$$ET_c = K_c \cdot ET_r \qquad (2.1)$$

όπου K_c, ο φυτικός συντελεστής ο οποίος για το στάδιο (1), διάρκειας 30 ημερών είχε την τιμή 0,45, κατά το στάδιο (2) διάρκειας 40 ημερών, αυξάνονταν γραμμικά από 0,45 έως 1,20, για το στάδιο (3) διάρκειας 50 ημέρες ήταν 1,20 και τέλος κατά το στάδιο (4) διάρκειας 30 ημερών μειώνονταν γραμμικά από 1,20 έως 0,60.



Σχήμα 2. Ημερήσια τιμές δυναμικής εξατμισοδιαπνοής καλλιέργειας, ET_c

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Μετά τη σπορά του καλαμποκιού στις 13 Απριλίου 2005 έγινε άρδευση για το φύτρωμα της καλλιέργειας, με αυτοπροωθούμενο εκτοξευτήρα και δόση άρδευσης 20 mm. Το έτος 2006 το φύτρωμα έγινε χωρίς άρδευση με την υγρασία του εδάφους. Η συνολική βροχόπτωση κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου ανήλθε σε 124,4 mm κατά το έτος 2005 και 110,4 mm κατά το έτος 2006. Στον Πίνακα 2, δίνονται τα ύψη άρδευσης καθώς και το συνολικό νερό (άρδευση+βροχή+άρδευση φυτρώματος) για κάθε πρίπτωση του πειράματος.

Πίνακας 2. Συνολικά ύψη άρδευσης για κάθε μεταχείριση

	ΥΣΑ (2005)			ΕΣΑ (2005)		
Επίπεδο άρδευσης	Άρδευση mm	% του Β	Συνολικό νερό (mm)	Άρδευση mm	% του Β	Συνολικό νερό (mm)
Α	453,1	113	577,6	444,8	110	569,5
Β	402,0	100	526,5	405,5	100	529,8
Γ	359,8	89	484,2	351,6	87	476,0
Δ	290,5	72	414,9	285,7	71	410,1

	ΥΣΑ (2006)			ΕΣΑ(2006)		
Επίπεδο άρδευσης	Άρδευση mm	% του Β	Συνολικό νερό (mm)	Άρδευση Mm	% του Β	Συνολικό νερό (mm)
Α	422,3	106	532,7	427,4	106	537,8
Β	404,0	100	514,4	405,5	100	515,9
Γ	323,8	80	434,2	323,0	80	433,5
Δ	247,7	61	358,1	253,3	62	363,7

Από τον Πίνακα 2 προκύπτει ότι τα προκαθορισμένα επίπεδα άρδευσης παρουσιάζουν αποκλίσεις από εκείνα που τελικά επιτεύχθηκαν κατά την λειτουργία του συστήματος. Στους Πίνακες 3 και 4 δίνεται η παραγωγή του καλαμποκιού σε kg/στρμ. για κάθε σύστημα, μεταχείριση και επανάληψη, καθώς επίσης η τυπική απόκλιση (STD) και ο συντελεστής παραλλακτικότητας (CV) μεταξύ των επαναλήψεων για κάθε καλλιεργητικό έτος χωριστά.

Πίνακας 3. Παραγωγή καλαμποκιού (kg/στρμ.), 2005

Επιφανειακή στάγδην άρδευση (ΕΣΑ)							
Επίπεδο Άρδευσης	**Παραγωγή κατά επανάληψη** Kg/στρμ.				Μ.Ο kg/στρμ.	STD kg/στρμ.	CV
Α	1553	1651	1509	1669	1596^{b}	119	0,07
Β	1596	1377	1545	1585	1489^{cde}	120	0,08
Γ	1480	1329	1507	1563	1455^{bcd}	132	0,9
Δ	1393	1236	1303	1279	1281^{a}	51	0,10
Υποεπιφανειακή στάγδην άρδευση (ΥΣΑ)							
Επίπεδο άρδευσης	**Παραγωγή κατά επανάληψη** Kg/στρμ.				Μ.Ο kg/στρμ.	STD kg/στρμ.	CV
Α	1588	1475	1654	1487	1551^{be}	158	0,10
Β	1307	1461	1463	1485	1429^{bc}	137	0,10
Γ	1363	1379	1359	1456	1389^{abc}	82	0,06
Δ	1281	1377	1387	1359	1351^{ab}	82	0,06

^{abc} μέσοι όροι που συνοδεύονται από το ίδιο γράμμα δεν διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά

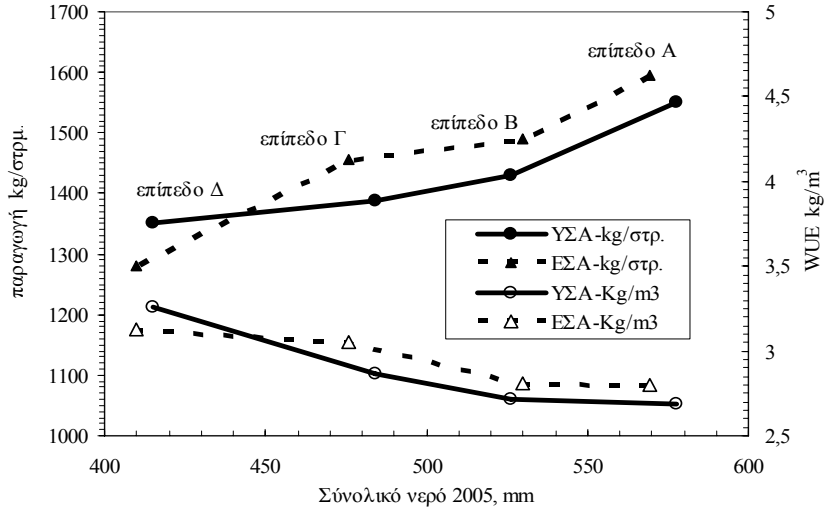
Στη στήλη Μ.Ο. των Πινάκων 3 και 4 οι μέσοι όροι που συνοδεύονται από το ίδιο γράμμα δεν διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά μεταξύ τους σε επίπεδο σημαντικότητος 0,05, όπως προέκυψε από την εφαρμογή της δοκιμής της Ελάχιστης Σημαντικής Διαφοράς για την σύγκριση των μέσων όρων. Οι μέσοι όροι των επιπέδων άρδευσης Α,

Β, Γ και Δ των δύο συστημάτων δεν διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά μεταξύ των και για τα δύο έτη πειραματισμού.

Πίνακας 4. Παραγωγή καλαμποκιού (kg/στρμ), 2006

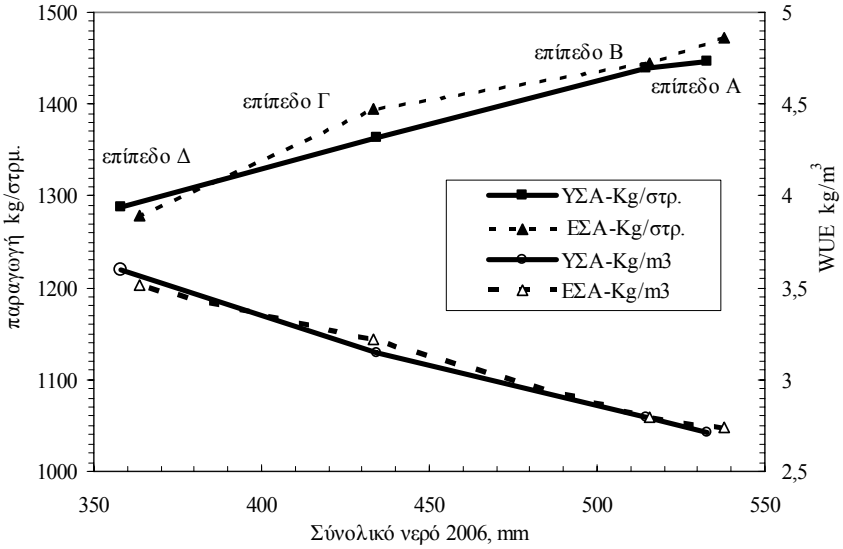
Επιφανειακή στάγδην άρδευση (ΕΣΑ)							
Επίπεδο Άρδευσης	**Παραγωγή κατά επανάληψη** Kg/στρμ.				M.O kg/στρμ.	STD kg/στρμ.	CV
Α	1491	1533	1454	1409	1472[c]	120	0,08
Β	1361	1449	1439	1525	1444[bc]	109	0,08
Γ	1464	1360	1396	1356	1394[bc]	126	0,09
Δ	1329	1257	1239	1239	1279[a]	76	0,06
Υποεπιφανειακή στάγδην άρδευση (ΥΣΑ)							
Επίπεδο άρδευσης	**Παραγωγή κατά επανάληψη** Kg/στρμ.				M.O kg/στρμ.	STD kg/στρμ.	CV
Α	1481	1411	1499	1397	1447[b]	71	0,05
Β	1353	1541	1521	1344	1439[b]	153	0,11
Γ	1292	1391	1309	1463	1363[a]	116	0,08
Δ	1215	1333	1259	1347	1288[a]	93	0,07

Κατά το έτος 2005 η ΥΣΑ δείχνει μια μικρή υστέρηση της παραγωγής στα επίπεδα Α, Β και Γ ενώ δείχνει μια μικρή αύξηση στο επίπεδο άρδευσης Δ. Τούτο φαίνεται χαρακτηριστικά και στην αποδοτικότητα του νερού άρδευσης όπως δείχνει το Σχήμα 3. Η αύξηση της παραγωγής από το επίπεδο Β στο Α ενδεχομένως να οφείλεται στην υποεκτίμηση της δυναμικής εξατμισοδιαπνοής με βάση τη μέθοδο που χρησιμοποιήθηκε. Κατά το έτος 2006 (*Σχήμα 4*,) υπήρξε μια μικρή αύξηση της παραγωγής της ΥΣΑ στο επίπεδο άρδευσης Δ.



Σχήμα 3. Παραγωγή και αποδοτικότητα του νερού άρδευσης το έτος 2005 σε σχέση με το συνολικό νερό για κάθε επίπεδο και σύστημα άρδευσης.

Οι υπολογισμοί της παροχής των σταλακτήρων από τις μετρήσεις της διάρκειας των αρδεύσεων και του όγκου του νερού δεν έδειξαν διαφοροποίηση από την ονομαστική τους παροχή. Αυτό σημαίνει ότι δεν υπήρξε απόφραξη σταλακτήρων στο υπόγειο σύστημα, το οποίο υπόκειται σε τέτοιο κίνδυνο. Κάθε χρόνο με το πέρας της αρδευτικής περιόδου γινόταν χρήση μικρής ποσότητας τριφλοραρίνης με σκοπό την αποφυγή έμφραξης των σταλακτήρων από τις ρίζες των φυτών. Αν και στην περιοχή υπήρχαν πολλά τρωκτικά δεν παρατηρήθηκαν βλάβες στο σύστημα και διαρροές νερού κατά τα έξι χρόνια λειτουργίας του συστήματος. Αυτό οφείλεται στο ότι το βάθος εγκατάστασης του σταλακτηφόρου σωλήνα (45 cm) βρίσκεται εκτός της ζώνης δραστηριότητας των.



Σχήμα 4. Παραγωγή και αποδοτικότητα του νερού άρδευσης, το έτος 2006 σε σχέση με το συνολικό νερό για κάθε επίπεδο και σύστημα άρδευσης.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από την ανάλυση των δεδομένων του πειράματος σύγκρισης της υποεπιφανειακής και της επιφανειακής στάγδην άρδευσης σε καλλιέργεια καλαμποκιού προκύπτει ότι:

- η εφαρμογή της υποεπιφανειακής στάγδην άρδευσης βάθους 45 cm μπορεί να εφαρμοστεί σε καλλιέργεια καλαμποκιού η οποία έχει επιφανειακό ριζικό σύστημα χωρίς να υστερήσει σε αποδοτικότητα του νερού σε σύγκριση με την αντίστοιχη επιφανειακή μέθοδο.
- παρατηρήθηκε σαφής μείωση ανάπτυξης ζιζανίων στα πειραματικά τεμάχια που εφαρμόστηκε η ΥΣΑ σε σχέση με αυτά της ΕΣΑ και στα τρία έτη πειραματισμού .
- η υποεπιφανειακή μέθοδος στάγδην άρδευσης μπορεί να εφαρμοσθεί χωρίς να υπάρχει ο φόβος καταστροφής από τρωκτικά και φράξιμο των σταλακτήρων από τις ρίζες των φυτών, αφού λειτούργησε χωρίς πρόβλημα επί έξι συνεχή έτη.
- το νέο για τη χώρα μας αυτό σύστημα μπορεί να εφαρμοσθεί και να λειτουργήσει σε διάφορες καλλιέργειες (βαμβάκι, καλαμπόκι, ζαχαρότευτλα, μηδική κ.α.), αρκεί ο σχεδιασμός και η διαχείρισή του να στηρίζονται στην επιστημονική γνώση.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Alam, Bb., Trooien, T. and Rogers, D., 2000. Subsurface drip irrigation for alfalfa in western Kansas. *6th international Micro-irrigation Congress*, South Africa.
2. Lamm, F. and Trooien, T., 2000. SDI for corn production: A ten year summary of research. *6th international Micro-irrigation Congress*. South Africa.
3. Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη Μ., Καλφούντζος Δ. και Παπανίκος Ν., (2000). Αξιολόγηση της επιφανειακής και υπόγειας στάγδην άρδευσης σε καλλιέργεια ζαχαροτεύτλων. *Πρακτικά, 2ο Εθνικό Συνέδριο Γεωργικής Μηχανικής*, Βόλος, σελ. 157-164.
4. Ayars, J. E., Schoneman, R.A., Dale, F., Meso, B. and Shouse, P., 2001. Managing subsurface drip irrigation in the presence of shallow ground water. *Agric. Water Manage*., 47:243-264.
5. Sakellariou-Makrantonaki M., Kalfountzos D., Vyrlas P.**,** 2002. Water saving and yield increase of sugar beet with subsurface drip irrigation.*Global Nest The Int J.* Vol 4, No 2-3, pp 85-91.
6. Αλεξίου Ι., Καλφούντζος Δ., Κωτσόπουλος Σ., Βύρλας Π., Καμπέλη Σ. 2003. Σύγκριση της υποεπιφανειακής και της επιφανειακής στάγδην άρδευσης σε καλλιέργεια βαμβακιού. *Πρακτικά, 9ο Πανελλήνιο Συνέδριο Ελληνικής Υδροτεχνικής Ένωσης,* Θεσσαλονίκη, σελ. 199-206
7. Kalfountzos D., Alexiou I., Kotsopoulos S., Vyrlas P. and Kambeli S., 2004. Evaluation of subsurface and surface drip irrigation applied on cotton. Proc. *Int. Symposium of EWRA* on *Water Resources Management: Risk and Challenges for the 21th Century*, 2-4 September 2004, Ismir, Turkey, 1: 417-427.
8. Kotsopoulos S., Kalfountzos D. and Alexiou I., 2004. Water depths and cotton yield under sprinkler, surface trickle and subsurface trickle irrigation. *e-Proceedings of Int. Conf. "Protection and Restoration of the Environment VII",* June 28-July 1, 2004, Mykonos, Greece.
9. Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη Μ., Τέντας Ι., Κολιού Α., Καλφούντζος Δ. και Παπανίκος Ν., (2000). Άρδευση πρασίνου με επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα. *Πρακτικά, 3ο Πανελλήνιο Συνέδριο Γεωργικής Μηχανικής*, Θεσσαλονίκη, σελ. 265-272.
10. Kalfountzos D., Alexiou I., Kotsopoulos S., Zavacos G., Vyrlas P. 2006. Effect of subsurface drip irrigation on cotton plantation. *Water Resour Manag.* DOI 10.1007/s11269-006-9085-4
11. Βύρλας Π., Καλφούντζος Δ., Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη Μ., 2003. Επίδραση του εδαφικού τύπου στην έμφραξη λόγω εισρόφησης σε υποεπιφανειακά συστήματα στάγδην άρδευσης. *Πρακτικά, 9ο Πανελλήνιο Συνέδριο, Ελληνικής Υδροτεχνικής Ένωσης,* Θεσσαλονίκη, Πρακτικά τεύχος Α σελ. 225-232
12. Kotsopoulos S., Kalfountzos D., Alexiou I., 2006. Comparison of a subsurface and a surface drip irrigation system applied on a maize field.. *e-Proceedings of 2nd International Conference Water and Technology Integrated Management of Water Resources.* Athens, Hellas.
13. 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.

(215)

ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΣΤΟΝ ΧΕΙΜΑΡΡΟ ΛΥΚΟΡΡΕΜΑ ΤΟΥ ΟΡΟΥΣ ΠΕΝΤΕΛΗ

Κ. Σούλης[1α], Ν. Δέρκας[1β], Ι. Δ. Βαλιάντζας[1γ]
[1] Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής, Τομέας Διαχείρισης Υδατικών Πόρων, Ιερά Οδός 75, Τ.Κ. 11855 Αθήνα, email: [α]soco@aua.gr, [β]ndercas1@aua.gr, [γ]lhyd2vay@aua.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εργασία αυτή παρουσιάζεται η πειραματική λεκάνη απορροής στον χείμαρρο Λυκόρρεμα, στην Ανατολική πλευρά του όρους Πεντέλη. την οποία εξόπλισε και μελετά συστηματικά ο Τομέας Διαχείρισης Υδατικών Πόρων του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών Ο εγκατεστημένος εξοπλισμός της πειραματικής λεκάνης απορροής η οποία έχει έκταση 7,8Km^2. περιλαμβάνει δύο υδρομετρικούς σταθμούς, πέντε βροχογράφους, έναν αυτόματο μετεωρολογικό σταθμό εγκατεστημένο στο κέντρο βάρους της λεκάνης και τέσσερις θερμουγρογράφους κατανεμημένους στην υπόλοιπη περιοχή της λεκάνης.

PRESENTATION OF THE EXPERIMENTAL WATERSHED IN THE STREAM LYKORREMA OF PENTELI MOUNTAIN

K. Soulis[1a], N. Dercas[1b] and J. D. Valiantzas[1c]
[1] Agricultural University of Athens, Dept. of Natural Resources Management and Agricultural Engineering, Sector of Water Resources Management, 75, Iera Odos str., GR11855, Athens.
[a]soco@aua.gr, [b]ndercas1@aua.gr, [c]lhyd2vay@aua.gr

ABSTRACT

In this paper the experimental Watershed in the stream Lykorrema in the East side of Penteli Mountain, Attica, Greece, is presented, which was equipped and is being systematically studied by the Sector of Water Resources Management of the Agricultural University of Athens. The installed equipment in the experimental watershed, which has an area of 7.8km^2, consists of two hydrometric stations, five rain gauges, an automatic weather station located at the metacenter of the basin and four temperature-relative humidity recorders, distributed in the rest of the basin's area.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η έρευνα στα αντικείμενα της Διαχείρισης Υδατικών Πόρων και της Υδρολογίας έχει προσφέρει πλήθος μεθοδολογιών και τεχνικών υπολογισμού και προσομοίωσης των διαφόρων παραμέτρων του υδρολογικού κύκλου. Ιδιαίτερα τα τελευταία χρόνια, η εξέλιξη της πληροφορικής έχει καταστήσει δυνατή την ανάπτυξη και εφαρμογή εξαιρετικά λεπτομερών μοντέλων προσομοίωσης. Αυτές οι μεθοδολογίες όμως για να παρέχουν αξιόπιστα αποτελέσματα πρέπει να προσαρμόζονται κατάλληλα στην εκάστοτε περιοχή και τις εκεί επικρατούσες συνθήκες. Για το σκοπό αυτό είναι απαραίτητες πολλές πληροφορίες τόσο υδρο-μετεωρολογικές όσο και γεωμορφολογικές. Τέτοιου είδους πληροφορίες είναι πολύ δύσκολο να βρεθούν στον Ελληνικό χώρο και ειδικά όταν αφορούν σε συγκροτημένα πακέτα αξιόπιστων και λεπτομερών πληροφοριών, τα οποία να διαθέτουν την απαραίτητη ακρίβεια για ερευνητικές εφαρμογές. Για τους παραπάνω λόγους, ο Τομέας Διαχείρισης Υδατικών Πόρων του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών, προχώρησε στον εξοπλισμό και στη συστηματική μελέτη μίας πειραματικής λεκάνης απορροής, στον χείμαρρο Λυκόρρεμα, στην Ανατολική πλευρά του όρους Πεντέλη το οποίο βρίσκεται στο νομό Αττικής. Η πειραματική λεκάνη διοικητικά ανήκει στις κοινότητες Πικερμίου και Παλαιάς Πεντέλης.

2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ

2.1 Γεωμορφολογία

Η πειραματική λεκάνη απορροής έχει έκταση 7,8Km^2 και περίμετρο 12,2Km. Ιδιαίτερο χαρακτηριστικό της γεωμορφολογίας της λεκάνης είναι το έντονο ανάγλυφο και οι μεγάλες κλίσεις. Το μέσο υψόμετρο της λεκάνης είναι 560m, ενώ το ελάχιστο και το μέγιστο υψόμετρό της είναι 280m και 950m αντίστοιχα. Η κλίση του εδάφους της λεκάνης κυμαίνεται μεταξύ 0,5% και 127% ενώ η μέση κλίση είναι 36%. Το υδρογραφικό δίκτυο της λεκάνης είναι πυκνό και περιλαμβάνει κλάδους έως και πέμπτης τάξεως σύμφωνα με τη μέθοδο Strahler [10]. Απεικόνιση της γεωμορφολογίας της λεκάνης φαίνεται στο σχήμα 1, ενώ η υψογραφική καμπύλη και η μηκοτομή του υδρογραφικού δικτύου της λεκάνης φαίνονται στο σχήμα 2. Η περιγραφή της λεκάνης βασίζεται στο τοπογραφικό υπόβαθρο κλίμακας 1/5000 της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού το οποίο χρησιμοποιήθηκε στην δημιουργία της γεωγραφικής βάσης δεδομένων για την πειραματική λεκάνη.

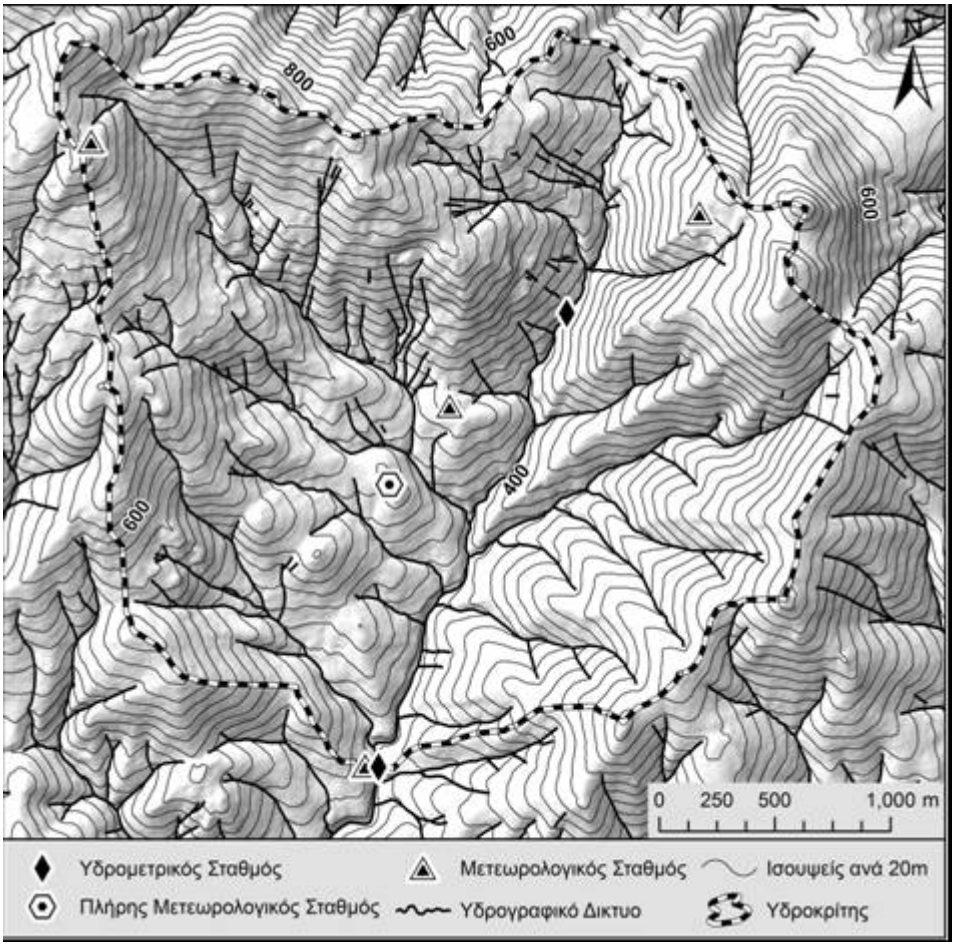
Αναλυτικότερα τα χαρακτηριστικά της πειραματικής λεκάνης απορροής παρουσιάζονται στον πίνακα 1.

Πίνακας 6: Γεωμορφολογικοί δείκτες της πειραματικής λεκάνης

Γεωμετρία		**Ανάγλυφο**		**Υδρογραφικό Δίκτυο**	
Δείκτης κυκλικότητας (Ec)	0.66	Ελάχ. Υψόμ. (m)	280	D_A (m^{-1})	0,0046
Δείκτης συμπαγούς (Ec')	1.23	Μέγ. Υψόμ. (m)	950	X_A (m)	107.8
Δείκτης επιμήκυνσης (E_L)	0.58	Μέσο Υψόμ. (m)	560	L_w (m)	4839
Περίμετρος λεκάνης (Km)	12,2	Μέση κλίση (%)	36	R_L	0,56
Εμβαδό λεκάνης (km^2)	7,84	Μέγ. κλίση (%)	127	R_B	0,57
		Ελάχ.κλίση (%)	0,5		

Για την περιγραφή της γεωμετρίας της λεκάνης χρησιμοποιήθηκαν οι παρακάτω αδιάστατοι δείκτες: δείκτης κυκλικότητας E_c, δείκτης συμπαγούς E_c' και δείκτης

επιμήκυνσης E_L [12]. Για την περιγραφή του υδρογραφικού δικτύου χρησιμοποιήθηκαν δύο εμπειρικοί νόμοι που αφορούν στην ταξινόμησή του, ο νόμος του Horton R_B για τον αριθμό N_i των υδατορευμάτων, και ο νόμος του Horton R_L για το μήκος L_i των υδατορευμάτων [6]. Για την περιγραφή της πυκνότητας του υδρογραφικού δικτύου χρησιμοποιήθηκε ο δείκτης πυκνότητας D_A, και η μέση απόσταση X_A από τον υδροκρίτη μέχρι το υδατόρευμα. Η πυκνότητα του υδρογραφικού δικτύου D_A είναι ένας δείκτης της ικανότητας του υδρογραφικού δικτύου να αποστραγγίζει μια περιοχή [5].

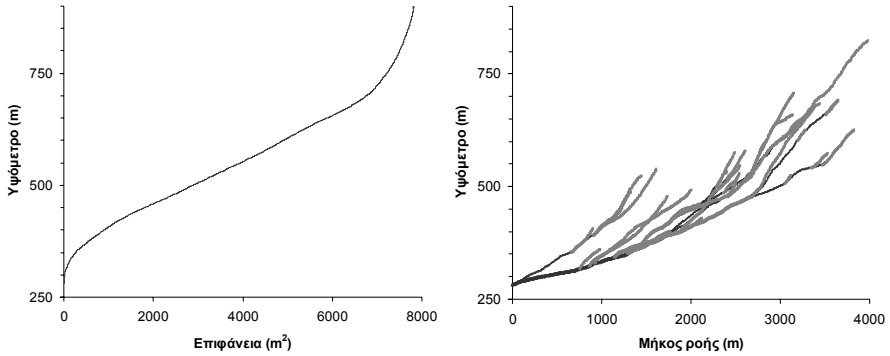


Σχήμα 1. Τοπογραφία της πειραματικής λεκάνης και θέσεις μετεωρολογικών και υδρομετρικών σταθμών.

2.2 Κλίμα

Το κλίμα στην ευρύτερη περιοχή της Αττικής όπως και γενικά της ανατολικής Ελλάδας, είναι τυπικά ξηρό μεσογειακό, με ήπιους και υγρούς χειμώνες, σχετικά θερμά και ξηρά καλοκαίρια και, γενικά, μακρές περιόδους ηλιοφάνειας κατά την μεγαλύτερη διάρκεια του έτους. Η μέση υπερετήσια τιμή της βροχόπτωσης στην Αττική σύμφωνα με μετρήσεις της ΕΜΥ [11] για τους σταθμούς Φιλαδέλφεια, Ελληνικό και Ελευσίνα είναι 414,1mm, 364,8mm και 372,9mm αντίστοιχα. Παρόλα αυτά, τα ύψη βροχής που μετρήθηκαν στην περιοχή της πειραματικής λεκάνης τα τρία τελευταία έτη, είναι σημαντικά μεγαλύτερα με τη μέση τιμή να είναι ίση με 765mm ενώ ακόμα και για το

φαινομενικά ξηρό υδρολογικό έτος 2006-2007 η τιμή της βροχόπτωσης μέχρι και το μήνα Ιούνιο έφτασε τα 702mm.



Σχήμα 2. Υψογραφική καμπύλη της λεκάνης και μηκοτομή του υδρογραφικού δικτύου.

Η κατανομή των βροχοπτώσεων ακολουθεί τα χαρακτηριστικά των ξηρών περιοχών τις Ελλάδας με το μεγαλύτερο μέρος των βροχοπτώσεων να παρατηρούνται την υγρή περίοδο υπό τη μορφή ισχυρών καταιγίδων. Έντονες καταιγίδες παρατηρούνται ακόμα και την περίοδο του καλοκαιριού και χαρακτηρίζονται από μικρή διάρκεια, μεγάλες εντάσεις και πολύ μεγάλη χωρική ανομοιομορφία.

Σε ότι αφορά στις θερμοκρασίες, σύμφωνα πάλι με τις μετρήσεις της ΕΜΥ από το σταθμό Φιλαδέλφεια, ο οποίος είναι ο πλησιέστερος στην περιοχή της λεκάνης η μέση ελάχιστη θερμοκρασία είναι 5,2^{o}C και παρουσιάζεται τον Ιανουάριο, ενώ η μέση μέγιστη θερμοκρασία είναι 33,5 ^{o}C και παρουσιάζεται τον Ιούλιο. Από τις μέχρι τώρα μετρήσεις στην περιοχή της πειραματικής λεκάνης τόσο οι μέγιστες όσο και ελάχιστες θερμοκρασίες είναι μικρότερες κατά περίπου 3 ^{o}C.

2.3 Γεωλογία - Εδάφη

Στην περιοχή της λεκάνης επικρατούν σχιστολιθικοί σχηματισμοί αποτελούμενοι από μαρμαρυγιακούς σχιστόλιθους με ενστρώσεις μαρμάρων. Στο βορειοανατολικό τμήμα της λεκάνης σε μικρές περιοχές γύρω από τις κορυφές Μικρά και Μεγάλα Μαυρηνόρα εμφανίζεται το ανώτερο μάρμαρο (4,1% της έκτασης της λεκάνης) ενώ πολύ μικρές περιοχές στην έξοδο της λεκάνης καλύπτονται από ποταμοχειμάριες αποθέσεις [9].

Οι σχιστολιθικοί σχηματισμοί στην περιοχή της λεκάνης έχουν υποστεί έντονη τεκτονική καταπόνηση και ρωγμάτωση με αποτέλεσμα να παρουσιάζουν αυξημένη υδατοπερατότητα και να εμφανίζεται στον αποσαρθρωμένο μανδύα των σχιστόλιθων μικρής δυναμικότητας υδροφορία. Μια δεύτερη υδροφορία υπάρχει στις ενστρώσεις μαρμάρων. Το ενδιάμεσο μάρμαρο είναι τεκτονικά καταπονημένο και καρστικοποιημένο και πιθανότατα τροφοδοτείται από την επιφάνεια μέσο ζωνών διάρρηξης των σχιστόλιθων. Οι υδροφορίες αυτές συμβάλουν στη βασική απορροή του χειμάρρου η οποία είναι έντονη από τον Φεβρουάριο μέχρι και τον Απρίλιο.

Τα εδάφη, όπως προέκυψε από αναλυτική χαρτογράφηση, στο μεγαλύτερο μέρος της λεκάνης είναι χονδρόκοκκα (αμμοπηλώδη) και παρουσιάζουν πολύ μεγάλη τιμή τελικής διηθητικότητας ενώ σε μικρά τμήματα της λεκάνης, κυρίως κοντά στην έξοδο και στις περιοχές που το μητρικό υλικό είναι το ανώτερο μάρμαρο υπάρχουν εδάφη μέσης

σύστασης (αμμοαργιλλοπηλώδη) τα οποία όμως παρουσιάζουν επίσης υψηλές τιμές τελικής διηθητικότητας.

Το βάθος του εδάφους, λόγω του έντονου ανάγλυφου στην περιοχή της πειραματικής λεκάνης, παρουσιάζει μεγάλη ανομοιομορφία. Στις περιοχές που καταλαμβάνει το ανώτερο μάρμαρο εμφανίζεται γυμνός βράχος με ελάχιστο έδαφος στις κοιλότητες ανάμεσα στους βράχους, στην περιοχή κοντά στην έξοδο της λεκάνης το έδαφος είναι βαθύ με αρκετές πέτρες, στις υπόλοιπες περιοχές κυμαίνεται από ρηχό έως βαθύ ανάλογα με το ανάγλυφο της κάθε περιοχής ενώ σε όλες τις περιπτώσεις περιέχει πολλές πέτρες και εναλλάσσεται με βράχους.

2.4 Κάλυψη Γης

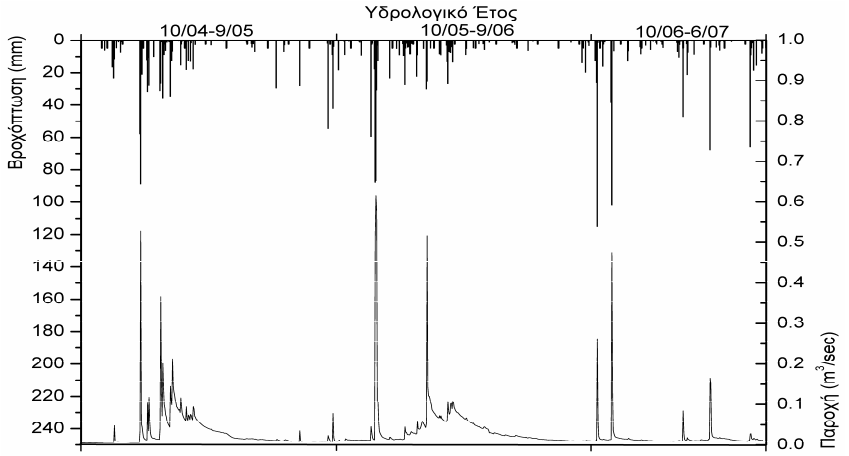
Το μεγαλύτερο μέρος τις λεκάνης παλαιότερα καλυπτόταν από πυκνό πευκοδάσος το οποίο καταστράφηκε ολοσχερώς από την μεγάλη πυρκαγιά, η οποία το 1995 έκαψε όλη την ανατολική πλευρά της Πεντέλης. Μετά την πυρκαγιά πραγματοποιήθηκαν επεμβάσεις για την προστασία της περιοχής από την διάβρωση όπως η τοποθέτηση των κορμών των καμένων δέντρων κατά μήκος των ισοϋψών. Σήμερα το μεγαλύτερο μέρος της λεκάνης καλύπτεται από θάμνους ενώ σε μεγάλο τμήμα της περιοχής αναγεννιέται, με φυσικό τρόπο ή κατόπιν αναδάσωσης, το παλαιό δάσος. Το γεγονός αυτό επιτρέπει την μελέτη της μεταβολής της υδρολογικής συμπεριφοράς της λεκάνης με την ανάπτυξη του δάσους.

Ένα πολύ μικρό τμήμα της λεκάνης (μικρότερο από 1% της συνολικής έκτασης) καλύπτεται από γεωργικές καλλιέργειες, ενώ ένα επίσης μικρό μέρος της λεκάνης που περιλαμβάνει κυρίως τις κοίτες των χειμάρρων καλύπτεται από φυλλοβόλα δέντρα που επιβίωσαν από την πυρκαγιά.

Σημαντική επίδραση στην υδρολογική συμπεριφορά της λεκάνης έχουν το εκτεταμένο δίκτυο δασικών δρόμων (συνολική έκταση 490 στρέμματα ή 6,2% της συνολικής επιφάνειας) και η παράνομη βόσκηση της περιοχής από αιγοπρόβατα.

2.5 Υδρολογική Συμπεριφορά

Από τη μέχρι τώρα μελέτη της λεκάνης διαπιστώνεται ότι ο κύριος όγκος της βροχόπτωσης εκδηλώνεται με τη μορφή σύντομων και ισχυρών καταιγίδων, ότι η ανταπόκριση της υδρολογικής λεκάνης στις καταιγίδες αυτές είναι άμεση και ότι η βασική απορροή είναι σημαντική από τον Φεβρουάριο μέχρι το Μάρτιο. Διαφορετική συμπεριφορά παρουσιάστηκε το τρέχον έτος, καθώς ενώ η συνολική βροχόπτωση δεν ήταν πολύ μικρότερη από το μέσο όρο, ήταν συγκεντρωμένη στην αρχή του φθινοπώρου και στο τέλος της άνοιξης με αποτέλεσμα η βασική απορροή να είναι πολύ περιορισμένη (Σχήμα 3).



Σχήμα 3. Ημερήσιες τιμές βροχόπτωσης και απορροής για την περίοδο 2004 – 2007.

3. ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ

Ο εγκατεστημένος εξοπλισμός στην πειραματική λεκάνη απορροής αποτελείται από δύο υδρομετρικούς σταθμούς, στην έξοδο και στο κέντρο βάρους της λεκάνης, από βροχομετρικό δίκτυο που περιλαμβάνει πέντε βροχογράφους, από έναν αυτόματο μετεωρολογικό σταθμό εγκατεστημένο στο κέντρο βάρους της λεκάνης και από τέσσερις θερμοϋγρογράφους κατανεμημένους στην υπόλοιπη περιοχή της λεκάνης (Σχήμα 1).

Ο υδρομετρικός σταθμός στην έξοδο της λεκάνης αποτελείται από έναν αιχμηρής στέψης, μερικό υπερχειλιστή ορθογωνικής διατομής, ο οποίος σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε ειδικά για την πειραματική λεκάνη (Σχήμα 3), από ένα σταθμήμετρο και από έναν ψηφιακό σταθμηγράφο πιεζομετρικού τύπου. Ο υπερχειλιστής τοποθετήθηκε σε διατομή του υδατορεύματος πλάτους 500cm και έχει μήκος στέψης 300cm. Για τον υπολογισμό της παροχής χρησιμοποιείται η εξίσωση των Kindsvater and Carter [8], η οποία έχει μεν πολύπλοκη μορφή, αλλά δίνει τα πιο αξιόπιστα αποτελέσματα σε σχέση με τις υπόλοιπες κατάλληλες εξισώσεις [2,7].

Για τον έλεγχο της ακρίβειας της εξίσωσης του υπερχειλιστή, και προκειμένου να βαθμονομηθεί η σχέση στάθμης-παροχής για τις πολύ μικρές τιμές της στάθμης, που δεν ανήκουν στο εύρος τιμών για το οποίο ισχύουν οι τύποι, πραγματοποιούνται υδρομετρήσεις με δυο διαφορετικές μεθόδους: με ογκομέτρηση, και με τη χημική μέθοδο. Δοκιμάστηκε επίσης η εφαρμογή της μεθόδου ταχύτητας εμβαδού, η οποία τελικά κρίθηκε ακατάλληλη για την περιοχή λόγω των μεγάλων σφαλμάτων στην μέτρηση της ταχύτητας ροής, τα οποία οφείλονταν στο χειμαρρώδες καθεστώς ροής που επικρατεί στο υδατόρευμα.

Η ογκομέτρηση αποδείχθηκε η καταλληλότερη μέθοδος για την ακριβή μέτρηση της παροχής στις μικρές στάθμες, όπου ήταν εφικτή η εφαρμογή της. Για την εφαρμογή της μεθόδου ογκομετρούταν η παροχή που διερχόταν από ένα μικρό τμήμα της στέψης του υπερχειλιστή και κατόπιν η μέτρηση αναγόταν σε όλο το πλάτος του υπερχειλιστή. Μεγαλύτερη ακρίβεια επιτεύχθηκε με την επανάληψη της μέτρησης σε διάφορα σημεία της στέψης του υπερχειλιστή. Η ακρίβεια της μεθόδου ελέγχθηκε στο εργαστήριο με επιτυχία ενώ τα αποτελέσματά της συγκρίθηκαν με αυτά της χημικής μεθόδου, η οποία είναι η μόνη που μπορεί να δώσει αξιόπιστα αποτελέσματα σε μεγαλύτερες στάθμες, αλλά η εφαρμογή της είναι αρκετά δύσκολη.

Σχήμα 4. Υπερχειλιστής εγκατεστημένος στην έξοδο της πειραματικής λεκάνης, βροχογράφος, βροχόμετρο και μετεωρολογικός σταθμός.

Ο υδρομετρικός σταθμός στο κέντρο της λεκάνης αποτελείται από ψηφιακό σταθμηγράφο εγκατεστημένο στο άκρο καταβαθμού ο οποίος σχηματίζεται στο τέλος κυκλικού αγωγού. Για την εκτίμηση της παροχής χρησιμοποιούνται ανάλογα με το καθεστώς της ροής εξισώσεις που προτείνονται από τους Dey και Ahmad [1,3,4] ενώ για τον έλεγχο της ακρίβειας της μεθόδου πραγματοποιούνται επίσης απευθείας υδρομετρήσεις.

Σε ότι αφορά στις μετεωρολογικές παρατηρήσεις, το δίκτυο των σταθμών σχεδιάστηκε έτσι ώστε να εξασφαλίζει την όσο το δυνατόν καλύτερη παρακολούθηση της χωρικής κατανομής των μετεωρολογικών παραμέτρων, καθώς και την αδιάλειπτη λειτουργία του. Για το σκοπό αυτό εγκαταστάθηκε ένας πλήρης μετεωρολογικός σταθμός κοντά στο κέντρο βάρους και περίπου στο μέσο υψόμετρο της λεκάνης, ενώ σε μικρή σχετικά απόσταση και κοντά επίσης στο κέντρο βάρους της λεκάνης εγκαταστάθηκε ένας σταθμός που περιλαμβάνει βροχογράφο και θερμοϋγρογράφο. Με αυτό τον τρόπο εξασφαλίζεται η συμπλήρωση των στοιχείων του ενός σταθμού από τον άλλον, όταν παρουσιαστεί πρόβλημα, και ελέγχεται η αξιοπιστία τους με τη σύγκριση των μετρήσεών τους.

Επίσης, με στόχο την παρακολούθηση της χωρικής κατανομής των μετεωρολογικών παραμέτρων εγκαταστάθηκαν τρείς επιπλέον σταθμοί, αποτελούμενοι από βροχογράφο και θερμοβαθογράφο διαμοιρασμένοι σε όλη την έκταση της λεκάνης και σε διάφορα υψόμετρα από το ελάχιστο έως το μέγιστο. (Σχήμα 4)

Η ακρίβεια των μετρήσεων των βροχογράφων, η οποία έχει εξαιρετική σημασία ελέγχεται επιπλέον με την τοποθέτηση ενός βροχόμετρου κοντά σε κάθε βροχογράφο.

Επίσης η ύπαρξη στην ευρύτερη περιοχή μετεωρολογικών σταθμών διαφόρων φορέων (Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο) παρέχει τη δυνατότητα συστηματικότερης εκτίμησης της συσχέτισης των μετεωρολογικών παρατηρήσεων με τη θέση και το υψόμετρο.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ο εξοπλισμός η παρακολούθηση και η συστηματική μελέτη της πειραματικής λεκάνης απορροής του Τομέα Διαχείρισης Υδατικών Πόρων του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών απαιτεί μεγάλη και συστηματική προσπάθεια, έχει όμως σαν αποτέλεσμα την δημιουργία ενός συνεχούς, πλήρους και αξιόπιστου συνόλου δεδομένων το οποίο εμπλουτίζεται συνεχώς και συμβάλει σημαντικά στην ανάπτυξη του ερευνητικού και εκπαιδευτικού έργου του Τομέα στα θέματα της Υδρολογίας, της Διαχείρισης Υδατικών Πόρων και της Μικρο-μετεωρολογίας.

Ιδιαίτερη προσοχή δίνεται στην αδιάλειπτη παρακολούθηση της λεκάνης και στον περεταίρω εξοπλισμό της, ενώ όλα τα δεδομένα χωρικά, μετεωρολογικά και υδρομετρικά επεξεργάζονται και αποθηκεύονται σε Γεωγραφική Βάση Δεδομένων η οποία έχει σχεδιαστεί και αναπτυχθεί ειδικά για τον παραπάνω σκοπό.

Ήδη με βάση τα πρώτα δεδομένα της πειραματικής λεκάνης πραγματοποιείται έρευνα του ΓΠΑ πάνω στην υδρολογική συμπεριφορά και στις πλημμυρικές απορροές των χειμάρρων, στα υδατικά ισοζύγια μικρών λεκανών απορροής, στην υδρομετρία και στη μικρο-μετεωρολογία.

Επόμενοι στόχοι είναι η ενδελεχής ανάλυση των δεδομένων που έχουν συγκεντρωθεί ενώ η διερεύνηση των μεταβολών στην υδρολογική συμπεριφορά της λεκάνης κατά την εξέλιξη της διαδικασίας αναδάσωσής της θα παράσχει πολύτιμες πληροφορίες στον κρίσιμο τομέα της διαχείρισης καμένων δασικών εκτάσεων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Ahmad Z., End-depth-discharge relationship for circular free overfall, Journal of Institution of Engineers (India) 83 (June) (2002) 21–24.
2. ASTM (1993): American Society for Testing and Materials, ASTM D5242, Standard method for open – channel flow measurement of water with thin – plate weirs, 1993.
3. Dey S., End depth in circular channels, Journal of Hydraulic Engineering ASCE 124 (8) (1998) 856–863.
4. Dey S., Free overall in open channels: state-of-the-art review, Flow Measurement and Instrumentation 13 (2002) 247–264
5. Dingman S. L., (2002). Physical Hydrology (second edition). pp. 600.
6. Horton, R.E. (1945). Erosional development of streams and their drainage basins: Hydrophysical approach to quantitive morphology. Geological Society of America Bulletin. 56: 275-370.
7. ISO (1980), International Organization of Standards. ISO 1438/1-1980 (E), Water flow measurement in open channels using weirs and venture flumes – Part 1Q Thin plate weirs, 1980.
8. Kindsvater, C. E. and R. W. Carter, 1959. Discharge characteristics of rectangular thin – plate weirs. Transactions, American Society of Civil Engineers. V. 24. Paper no. 3001.
9. Lepsius R. (1893): Geologie von Attika, Berlin
10. Strahler, R.E. (1952), Hypsometric (area- altitude) analysis of erosional topography. Geological Society of America Bulletin. 63: 1117-1142.
11. ΕΜΥ – Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία, www.hnms.gr
12. Κουτσογιάννης, Δ., 1999, Τεχνική Υδρολογία, pp.417.

(216)

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΩΝ ΤΟΥ Τ.Ο.Ε.Β. ΠΗΝΕΙΟΥ ΣΤΗΝ ΚΑΛΥΨΗ ΑΡΔΕΥΤΙΚΩΝ ΑΝΑΓΚΩΝ

Σ. Κωτσόπουλος[1α], Ι. Αλεξίου[1β], Φ. Λόκκας[2α], Γ. Γραβάνης[2β] και Σ. Μαγαλιός[3]

[1]ΕΘΙΑΓΕ/ΙΧΤΕΛ, Θεοφράστου 1, 41335 Λάρισα, [α]kotsopoulos@nagref.gr, [β]alexiou@nagref.gr

[2]ΤΕΙ Λάρισας, ΣΤΕΦ, Τμήμα ΠΕΥ 41110 Λάρισα, [α]p.lokkas@teilar.gr, [β]gravansg@teilar.gr

[3]Κοραή 13, 41223 Λάρισα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην περιοχή της τέως λίμνης Κάρλας λειτουργούν αρκετοί ταμιευτήρες για να εξασφαλίσουν τις αναγκαίες ποσότητες νερού για την άρδευση των παρακείμενων καλλιεργειών κυρίως την περίοδο Ιουνίου – Αυγούστου οπότε η ζήτηση είναι αυξημένη ενώ οι διαθέσιμοι υδατικοί πόροι από άλλες πηγές μηδενικοί. Στην παρούσα εργασία αξιοποιούνται μηνιαία κλιματικά στοιχεία από το μετεωρολογικό σταθμό της ΕΜΥ στη Λάρισα για την εκτίμηση της εξάτμισης από τους ταμιευτήρες και της υδατοκατανάλωσης των καλλιεργειών με στόχο την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας των ταμιευτήρων στην κάλυψη των αρδευτικών αναγκών ανάλογα με τα τεχνικά χαρακτηριστικά τους και το μέγεθος των αρδευόμενων εκτάσεων.

RELIABILITY OF THE RESERVOIRS IN THE AREA OF PINIOS L.O.L.R. IN MEETING CROP WATER REQUIREMENTS

S. Kotsopoulos[1a], I. Alexiou[1b], P. Lokkas[2a], G. Gravanis[2b] and S. Magalios[3]

[1]NAGREF/ISCM, 1, Theophrastos Str., Larissa, [a]kotsopoulos@nagref.gr, [b]alexiou@nagref.gr

[2]TEI Larissa, STA, Dept CIW, 41110 Larissa, [a]p.lokkas@teilar.gr, [b]gravansg@teilar.gr

[3] 13, Korai Str., 41223 Larissa

ABSTRACT

A number of surface reservoirs operate in the area of the former lake Karla and supply the sufficient water quantities for irrigation of nearby cultivated areas mainly during the period June – August when the irrigation water requirements are high while the available water from other resources is negligible. In the present study, monthly climatic data from the meteorological station of N.M.S. in Larissa are utilised for the estimation of reservoir evaporation and the crop water requirements in order to evaluate the efficiency of reservoirs in meeting crop water requirements with reference to their technical characteristics and the size of the irrigated areas.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η άρδευση των καλλιεργειών στην περιοχή της τέως λίμνης Κάρλας γίνεται σε μεγάλο ποσοστό από το νερό που αποθηκεύεται σε παρακείμενους ταμιευτήρες που έχουν κατασκευαστεί για το σκοπό αυτό. Στα πλαίσια του ερευνητικού έργου «Χωροθέτηση και εκτίμηση της υδρολογικής διακινδύνευσης με έμφαση στην ξηρασία και τις πλημμύρες σε αστικές και μη αστικές περιοχές της Θεσσαλίας και αξιολόγηση των περιβαλλοντικών τους επιπτώσεων» του προγράμματος ΑΡΧΙΜΗΔΗΣ (ΕΕΟΤ) του ΤΕΙ Λάρισας εξετάζεται η αξιοπιστία των έργων αυτών στην κάλυψη των υδατικών αναγκών των καλλιεργειών. Έντεκα συνολικά ταμιευτήρες βρίσκονται στην περιοχή αυτή [1, 2] που εξυπηρετούν συγκεκριμένες εκτάσεις-υποπεριοχές (Σχήμα 1) σύμφωνα με τα στοιχεία του Τ.Ο.Ε.Β. Πηνειού που τους διαχειρίζεται. Διακρίνονται οχτώ τέτοιες υποπεριοχές λόγω του γεγονότος ότι ορισμένες από αυτές εξυπηρετούνται από δύο ταμιευτήρες (π.χ. περιοχή Καλαμακίου από τους ταμιευτήρες Καλαμακίου Ι και ΙΙ). Οι ταμιευτήρες αυτοί γεμίζουν με άντληση νωρίς την άνοιξη από τα νερά του Πηνειού ποταμού μέσω του συλλεκτήρα του Ασμακίου και το νερό τους χρησιμοποιείται για την άρδευση των καλλιεργειών τους μήνες έλλειψης νερού (κυρίως Ιούνιο & Ιούλιο).

Στην περιοχή μελέτης οι αρδευόμενες καλλιέργειες, με καταιονισμό και σταγόνες, αποτελούν το ~ 70% και οι ξηρικές, κυρίως σιτηρά, το υπόλοιπο. Από τις αρδευόμενες, το βαμβάκι καταλαμβάνει το ~85% ενώ το υπόλοιπο καλλιεργείται κυρίως από καλαμπόκι, μηδική και βιομηχανική ντομάτα.

Με δεδομένο το μέγεθος των ταμιευτήρων, την αρδευόμενη από αυτούς έκταση και την κατανομή των καλλιεργειών κρίνεται αναγκαίο να αξιολογηθεί η αξιοπιστία τους στην κάλυψη των υδατικών αναγκών των καλλιεργειών λαμβάνοντας υπόψη τη διαφοροποίηση των κλιματικών συνθηκών από έτος σε έτος.

Μεθοδολογίες για την αξιολόγηση αρδευτικών δικτύων έχουν προταθεί στο παρελθόν για συγκεκριμένες καλλιέργειες [3, 4]. Για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας είναι αναγκαία η εκτίμηση της εξάτμισης από τους ταμιευτήρες και η εκτίμηση της εξατμισοδιαπνοής (υδατοκατανάλωσης) των καλλιεργειών σε μηνιαία βάση. Οι εκτιμήσεις αυτές θα αξιοποιηθούν για τον υπολογισμό του υδατικού ισοζυγίου - ελλείμματος νερού - κάθε υποπεριοχής για μια ικανοποιητική σειρά ετών.

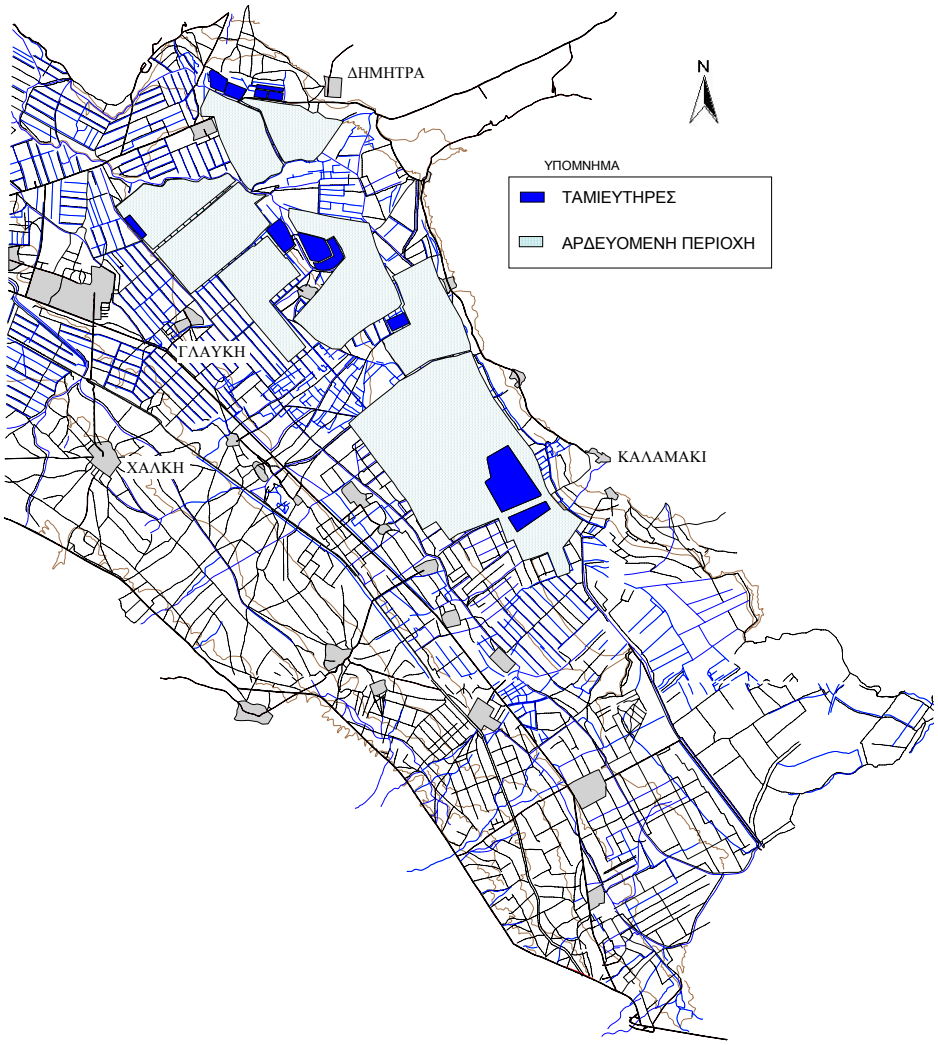
Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιούνται μηνιαία κλιματικά στοιχεία από το μετεωρολογικό σταθμό της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας (Ε.Μ.Υ.) στη Λάρισα, εδαφολογικά στοιχεία [5] και στοιχεία καλλιεργειών της περιοχής μελέτης, με στόχο την εκτίμηση της υδατικού ισοζυγίου κάθε υποπεριοχής που αρδεύεται από συγκεκριμένο ταμιευτήρα. Οι εκτιμήσεις αυτές αξιοποιούνται για την αξιολόγηση της αξιοπιστίας των ταμιευτήρων της περιοχής μελέτης στην κάλυψη των υδατικών αναγκών των καλλιεργειών.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Για την εκτίμηση της διακινδύνευσης σε κάθε περιοχή απαιτείται ο υπολογισμός του ελλείμματος νερού για κάθε έτος λαμβάνοντας υπόψη την εξάτμιση νερού από τους ταμιευτήρες, την έκταση και υδατοκατανάλωση των καλλιεργειών, τις βροχοπτώσεις και την μείωση της αποθηκευμένης στο έδαφος υγρασίας.

Η περιοχή μελέτης βρίσκεται πολύ κοντά στην πόλη της Λάρισας όπου λειτουργεί ο μετεωρολογικός σταθμός της ΕΜΥ. Η ευρύτερη περιοχή της Λάρισας χαρακτηρίζεται από θερμό και ξηρό καλοκαίρι, περίοδο ιδιαίτερα σημαντική για την ανάπτυξη των καλλιεργειών, που όμως απαιτούν αυξημένες ποσότητες νερού. Στο πεδινό τμήμα του νομού και ιδιαίτερα στην περιοχή της τέως λίμνης Κάρλας τόσο οι επικρατούσες θερμοκρασίες όσο και οι άλλες κλιματικές παράμετροι που καθορίζουν το ύψος της

εξάτμισης και εξατμισοδιαπνοής των καλλιεργειών (ηλιακή ακτινοβολία, ηλιοφάνεια, σχετική υγρασία, ταχύτητα ανέμου) μπορούν να θεωρηθούν πρακτικά ίδιες με αυτές που καταγράφονται στο σταθμό της ΕΜΥ στη Λάρισας.



Σχήμα 1. Ταμιευτήρες και αρδευόμενες από αυτούς εκτάσεις στην περιοχή Κάρλας, κλίμακα 1:290000

2.1. Υπολογισμός της εξάτμισης και της εξατμισοδιαπνοής

Σήμερα, ιδιαίτερη εφαρμογή για την αξιοπιστία της στον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής και εξάτμισης παρουσιάζει η τροποποιημένη μέθοδος Penman-Monteith όπως περιγράφεται από τον FAO-56 [6, 7, 8]. Για την εφαρμογή της, που γίνεται σε δύο στάδια, απαιτείται η εκτίμηση της εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας αναφοράς και του φυτικού συντελεστή όπως περιγράφεται από την παρακάτω σχέση:

$$ET_c = K_c \cdot ET_o \qquad (2.1)$$

όπου ET_c η ημερήσια εξατμισοδιαπνοή (mm/d), K_c φυτικός συντελεστής που εξαρτάται από το στάδιο ανάπτυξης της καλλιέργειας [6], και ET_o η εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας αναφοράς (mm/d).

Αναφορικά με την εξάτμιση, αυτή μπορεί να υπολογιστεί με ανάλογη με την εξ. (2.1) σχέση [9]:

$$E = K_c \cdot ET_o \tag{2.2}$$

όπου E η ημερήσια εξάτμιση (mm/d), K_c συντελεστής επιφάνειας που για αβαθείς επιφάνειες καλυμμένες με νερό λαμβάνει την τιμή 1.05 [6].

Για τον προσδιορισμό της εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας αναφοράς χρησιμοποιείται η τροποποιημένη μέθοδος Penman-Monteith όπως περιγράφεται από τον FAO-56 [6, 8] και υπολογίζεται από τη σχέση:

$$ET_O = \frac{0.408 \cdot \Delta \cdot (R_n - G) + \gamma \cdot \dfrac{900}{T + 273} \cdot u_2 \cdot (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma \cdot (1 + 0.34 \cdot u_2)} \tag{2.3}$$

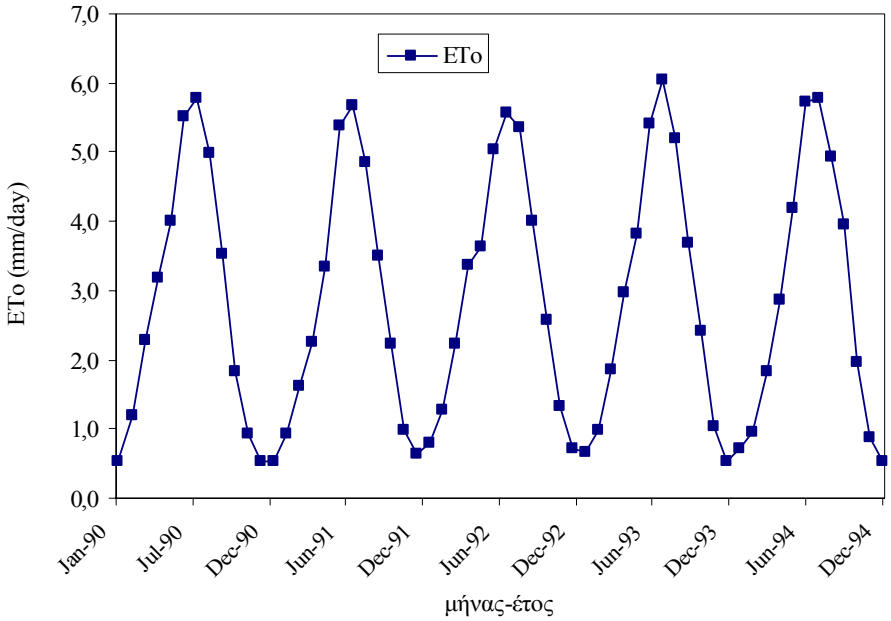
όπου ET_o η εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας αναφοράς (mm/d), R_n η καθαρή ηλιακή ακτινοβολία ($MJm^{-2}d^{-1}$), G η ροή θερμότητας στο έδαφος ($MJm^{-2}d^{-1}$) που μπορεί να θεωρηθεί $G \approx 0$, T η μέση ημερήσια θερμοκρασία του αέρα σε ύψος 2m (^oC), u_2 η μέση ταχύτητα του ανέμου σε ύψος 2m (ms^{-1}), e_s πίεση κορεσμένων υδρατμών (kPa), e_a πραγματική πίεση υδρατμών (kPa), Δ κλίση της καμπύλης των κορεσμένων υδρατμών στη θερμοκρασία T (kPa^oC^{-1}) και γ ψυχρομετρική σταθερά (kPa^oC^{-1}).

Για τον υπολογισμό του R_n απαιτείται η εκτίμηση ημερήσιων τιμών της ακτινοβολίας στο άνω όριο της ατμόσφαιρας (R_a) και της θεωρητικής ηλιοφάνειας (N) η οποία γίνεται με περιοδικές συναρτήσεις [10].

Από τις εξ. (2.1) και (2.3) και τις μηνιαίες τιμές κλιματικών παραμέτρων (θερμοκρασίας, ηλιοφάνειας, σχετικής υγρασίας και ταχύτητας ανέμου) των ετών 1955-1997 από το σταθμό της ΕΜΥ στη Λάρισα υπολογίζονται οι μηνιαίες τιμές εξατμισοδιαπνοής για περίοδο 43 ετών και παρουσιάζονται ενδεικτικά για τα έτη 1990-94 στο Σχήμα 2.

2.2. Υπολογισμός του υδατικού ισοζυγίου της περιοχής

Για την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας των ταμιευτήρων της περιοχής μελέτης απαιτείται ο υπολογισμός του υδατικού ισοζυγίου κάθε υποπεριοχής που αρδεύεται από διαφορετικό σύστημα ταμιευτήρων. Το ισοζύγιο γίνεται ανά έτος και λαμβάνει υπόψη τα τεχνικά χαρακτηριστικά των ταμιευτήρων (χωρητικότητα, έκταση) και την εξάτμιση νερού από αυτούς [9], την έκταση και υδατοκατανάλωση των καλλιεργειών (καθαρές ανάγκες για αποτελεσματικότητα των δικτύων διανομής και εφαρμογής 80%), τις βροχοπτώσεις (πραγματικές τιμές) και την μείωση της αποθηκευμένης στο έδαφος υγρασίας. Τα στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν για τους υπολογισμούς παρουσιάζονται στον Πίνακα 1 και αναφέρονται στα τεχνικά χαρακτηριστικά των ταμιευτήρων [2] καθώς και τις εξυπηρετούμενες από αυτούς περιοχές (στοιχεία Τ.Ο.Ε.Β. Πηνειού).



Σχήμα 2. Υπολογισμένες τιμές εξατμισοδιαπνοής αναφοράς (mm/d) στη Λάρισα κατά τα έτη 1990–94.

Πίνακας 1. Τεχνικά χαρακτηριστικά ταμιευτήρων και περιοχές που εξυπηρετούν

	Τεχνικά χαρακτηριστικά ταμιευτήρων			Εξυπηρετούμενη περιοχή				
	Ταμιευτήρας	Χωρητικότητα 10^6 m^3	Έκταση στρ.	Αρδευόμενη έκταση στο	Βαμβάκι %	Καλαμπόκι %	Μηδική %	Βιομηχανική ντομάτα %
1	Ελευθερίου Ι, ΙΙ	1,70	600	4000	85		15	
2	Δήμητρας	1,00	400	2600	85		15	
3	Πλατυκάμπου Ι	0,50	250	1500	85	10	5	
4	Πλατυκάμπου ΙΙ	1,45	500	4560	85	10	5	
5	Γλαύκης	2,10	550	5415	85	10	5	
6	Ναμάτων Ι, ΙΙ	2,90	983	10000	80	10	5	5
7	Καστρίου	1,10	350	4900	85		15	
8	Καλαμακίου Ι, ΙΙ	8,00	2750	20000	85		15	

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Τα αποτελέσματα των υπολογισμών παρουσιάζονται στον Πίνακα 2. Αυτά αναφέρονται στη μέση αποτελεσματικότητα των ταμιευτήρων, R_m, την τυπική της απόκλιση, SD_R και το συντελεστή μεταβλητότητας, CV_R, που προέρχονται από περίοδο προσομοίωσης 43 ετών. Η αποτελεσματικότητα ορίζεται από το λόγο της ωφέλιμης

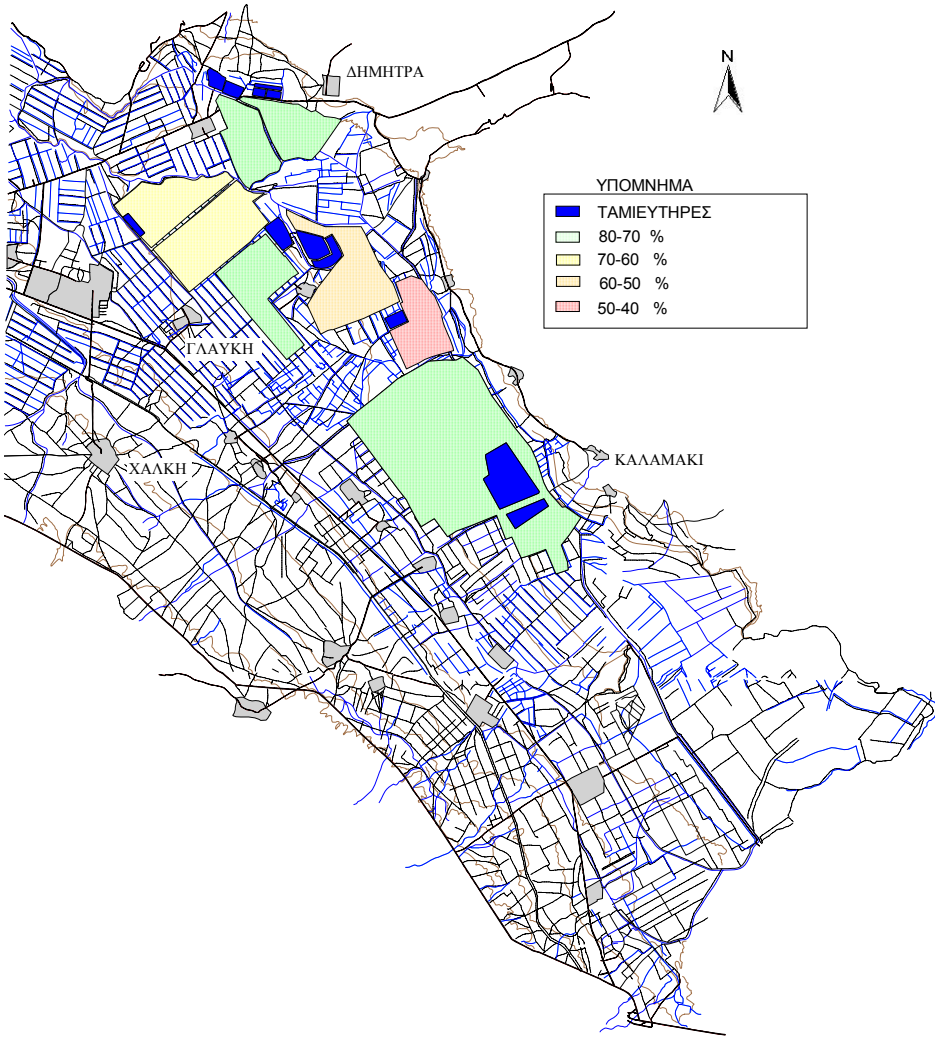
χωρητικότητας ενός ταμιευτήρα προς τις συνολικές καθαρές ανάγκες της περιοχής που εξυπηρετείται από αυτόν. Η τιμή 1 της αποτελεσματικότητας (μέγιστη τιμή) αντιπροσωπεύει πλήρη ικανοποίηση των υδατικών απαιτήσεων των καλλιεργειών κάθε υποπεριοχής.

Πίνακας 2. Χαρακτηριστικά αποτελεσματικότητας ταμιευτήρων περιοχής μελέτης

	Ταμιευτήρας	Μέση τιμή, R_m	Τυπική απόκλιση, SD_R	Συντελεστής μεταβλητότητας, CV_R, %
1	Ελευθερίου Ι, ΙΙ	0,8321	0,1130	13,58
2	Δήμητρας	0,7579	0,1157	15,27
3	Πλατυκάμπου Ι	0,6600	0,1086	16,46
4	Πλατυκάμπου ΙΙ	0,6673	0,1054	15,80
5	Γλαύκης	0,8160	0,1148	14,07
6	Ναμάτων Ι, ΙΙ	0,6104	0,0994	16,28
7	Καστρίου	0,4827	0,0823	17,04
8	Καλαμακίου Ι, ΙΙ	0,7995	0,1108	13,85

Με βάση τις τιμές των παραπάνω παραμέτρων που αναφέρονται και εκφράζουν τη μεταβλητότητα της αποτελεσματικότητας των ταμιευτήρων και τις υποθέσεις (α) της ανεξαρτησίας αποτελεσματικότητας αυτής από έτος σε έτος και (β) της κανονικότητας μεταξύ των αποτελεσμάτων της ίδιας υποπεριοχής [11, 12, 13, 14], μπορεί να γίνει η συνολική αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας των ταμιευτήρων της περιοχής μελέτης.

Ενδεικτικά, η αξιολόγηση γίνεται ως προς τη μέση αποτελεσματικότητα (αξιοπιστία) των ταμιευτήρων για περίοδο 10 ετών και για πιθανότητα μη υπέρβασης 10%. Ως πλέον αξιόπιστοι εκτιμώνται οι ταμιευτήρες Ελευθερίου Ι & ΙΙ (78,7%) και ακολουθούν οι: Γλαύκης (76,9%), Καλαμακίου Ι & ΙΙ (75,5%), Δήμητρας (71,1%), Πλατυκάμπου ΙΙ (62,5%), Πλατυκάμπου Ι (61,6%), Ναμάτων (57,0%) και τέλος του Καστρίου (44,9%). Τα αποτελέσματα αυτά παρουσιάζονται γραφικά στο Σχήμα 3.



Σχήμα 3. Μέση αξιοπιστία ταμιευτήρων στην περιοχή Κάρλας για περίοδο 10 ετών και πιθανότητα 10%, κλίμακα 1:290000

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τις υπολογισμένες τιμές ελλείμματος στο υδατικό ισοζύγιο για κάθε υποπεριοχή της περιοχής μελέτης της τέως λίμνης Κάρλας, με βάση τη διαφοροποίηση των κλιματικών συνθηκών για περίοδο 43 ετών, το μέγεθος των ταμιευτήρων και το είδος και έκταση των καλλιεργειών προκύπτει:

α) υπάρχει διαφοροποίηση στην αξιοπιστία των διαφόρων ταμιευτήρων της περιοχής μελέτης. Συνήθως, οι ταμιευτήρες δεν καλύπτουν τις αρδευτικές ανάγκες των καλλιεργειών. Κατά μέσο όρο, καλύπτεται ~ το 48 - 83% αυτών ανάλογα με την υποπεριοχή που κάθε ταμιευτήρας εξυπηρετεί. Οι πλέον αξιόπιστοι ταμιευτήρες, με βάση τις συνθήκες λειτουργίας που αναλύθηκαν, είναι του Ελευθερίου Ι & ΙΙ, της Γλαύκης, και Καλαμακίου Ι & ΙΙ και ο λιγότερο αξιόπιστος αυτός του Καστρίου.

β) υπάρχει διαφοροποίηση στην ικανοποίηση των αρδευτικών αναγκών των καλλιεργειών που αρδεύονται από τον ίδιο ταμιευτήρα από έτος σε έτος λόγω της μεταβλητότητας των κλιματικών συνθηκών. Η διαφοροποίηση αυτή όπως εκφράζεται μέσω του συντελεστή μεταβλητότητας κυμαίνεται από ~13,5 - 17%.

Με βάση την ανάλυση αξιοπιστίας των παραπάνω υποδομών ταμίευσης νερού μπορεί να γίνει αξιολόγησή τους και προγραμματισμός νέων έτσι ώστε να ανταποκρίνονται με τον καλύτερο δυνατό τρόπο στις αρδευτικές ανάγκες των καλλιεργειών κάθε υποπεριοχής.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Διεύθυνση Εγγείων Βελτιώσεων, 2005. *Εγγειοβελτιωτικά Έργα – Δραστηριότητες – Στόχοι της Δ.Ε.Β.*, Νομαρχιακή Αυτοδιοίκηση Λάρισας, Φεβρουάριος 2005.
2. Γκούμας, Κ. 2006. Οι αρδεύσεις στη Θεσσαλική πεδιάδα: επιπτώσεις στα υπόγεια και επιφανειακά νερά. *Πρακτικά Ημερίδας ΕΥΕ: Υδατικοί Πόροι και Γεωργία*, Θεσσαλονίκη, 2 Φεβρουαρίου 2006: 39-53.
3. Kotsopoulos, S. I., 1989. *On the evaluation of risk of failure in irrigation water delivery*, Ph.D. Thesis, Southampton University, UK.
4. Kotsopoulos, S. and Svehlik, Z., 1995. Risk of failure in irrigation systems: Its estimation, *Proc. of the EWRA 95 Symposium on Water Resources under Drought or Water Shortage Conditions,* Nicosia, Cyprus, 14-18 March 1995: 243-250.
5. Καλφούντζος, Δ., Αλεξίου, Ι., Μαγαλιός, Σ., Βύρλας, Π. και Τσιτσιπά, Γ., 1999. Έμπειρο σύστημα ολοκληρωμένης διαχείρισης αρδευτικού νερού: Εδική εφαρμογή στον ΤΟΕΒ Πηνειού, *Πρακτικά 4ου Εθνικού Συνεδρίου ΕΕΔΥΠ: Διαχείριση Υδατικών Πόρων στις Ευαίσθητες Περιοχές του Ελλαδικού Χώρου***,** Βόλος, 17-19 Ιουνίου 1999: 20-27.
6. 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.
7. Kotsopoulos, S., Kalfountzos, D., Alexiou, I., Zerva, G., Karamaligas, C. and Vyrlas, P., 2003. Actual evapotranspiration and soil moisture studies in irrigated cotton fields, *European Water* (e-bulletin of EWRA), Issue 3 / 4: 22-28.
8. Κωτσόπουλος, Σ. 2006. *Υδρολογία*, Εκδόσεις Ίων, Αθήνα.
9. Κωτσόπουλος, Σ., Αλεξίου, Ι., Λόκκας, Φ., Γραβάνης, Γ. και Μαγαλιός, Σ., 2006. Υπολογισμός των απωλειών εξάτμισης από τους ταμιευτήρες του Ν. Λάρισας, *Πρακτικά 10ου Πανελληνίου Συνεδρίου ΕΥΕ,* Ξάνθη, 13-16 Δεκεμβρίου 2006: 103-110.
10. Kotsopoulos, S. and Babajimopoulos, C., 1997. Analytical estimation of modified Penman equation parameters", *J. Irrig. and Drain. Engng.,* ASCE Vol. 123 (4), pp. 253 - 256.
11. Haan, C. T., 1977. *Statistical Methods in Hydrology,* the Iowa State University Press, Ames, Iowa.
12. Kite, G. W., 1985. *Frequency and Risk Analyses in Hydrology,* Water Resources Publications, Colorado.
13. Yevjevich, V., 1982. *Probability and Statistics in Hydrology,* Water Resources Publications, Colorado.
14. Chatfield, C., 1983. *Statistics for Technology,* Chapman and Hall, London.

(217)

ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ ΤΗΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΤΟΥ ΑΡΔΕΥΤΙΚΟΥ ΝΕΡΟΥ ΣΤΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΤΗΣ ΟΔΗΓΙΑΣ 2000/60

Ν. Δέρκας[1], Π. Λόντρα[1] και Α. Καραμάνος[2]
Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμ. Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων & Γ. Μηχανικής[1], Τμ. Φυτικής Παραγωγής[2], Ιερά Οδός 75, 11855 Αθήνα, ndercas1@aua.gr.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εργασία αυτή παρουσιάζεται η υφιστάμενη κατάσταση στην Ελλάδα όσον αφορά στις αρδεύσεις και στα κύρια προβλήματα διαχείρισης του αρδευτικού νερού που οδηγούν στην αλόγιστη χρήση των υδατικών πόρων. Η Οδηγία 2000/60 δημιουργεί μια νέα κατάσταση εισάγοντας την ολοκληρωμένη διαχείριση σε επίπεδο υδρολογικής λεκάνης και λαμβάνοντας υπόψη το περιβαλλοντικό κόστος. Εξετάζονται επίσης διάφορες χρονίζουσες καταστάσεις στη χρήση του αρδευτικού νερού που δεν συνάδουν με την Οδηγία και προτείνονται βελτιώσεις στην οργάνωση της διαχείρισης των υδατικών πόρων με τη δημιουργία οργανισμών κοινής ωφέλειας για τη διαχείριση του συνόλου των υδατικών πόρων σε επίπεδο λεκάνης απορροής, τη δημιουργία γραφείων αρδεύσεων όπως και τη χρήση νέας τεχνολογίας υδροληψιών.

PROPOSALS FOR IMPROVED IRRIGATION WATER MANAGEMENT ACCORDING TO WFD 2000/60

N. Dercas[1], P. Londra[1] and A. Karamanos[2]
Agricultural University of Athens, Dep. of Natural Resources Management and Agricultural Engineering[1], Dep. of Crop Production[2], Iera Odos 75, 11855 Athens, ndercas1@aua.gr.

ABSTRACT

This paper presents the current situation in Greece with regard to irrigations, as well as to the main problems of irrigation water management, which lead to an irrational use of water resources. The EC Directive 2000/60 introduces the principle of integrated management at the level of watershed and takes into consideration the environmental cost. Several issues of water use contrary to the Directive are examined and certain improvements are suggested regarding water resources management such as the creation of public utility companies responsible for the total water resources at watershed level, as well as the creation of irrigation agencies and the use of new technology hydrants.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η γεωργία είναι στην Ελλάδα ο μεγαλύτερος καταναλωτής και ρυπαντής του νερού. Τα προβλήματα που παρουσιάζονται στη διαχείριση του αρδευτικού νερού είναι πολλά και μεγάλα: χαμηλή συντήρηση των έργων, μεγάλες καταναλώσεις και απώλειες νερού, υπεράντληση και υφαλμύρινση υπόγειων υδροφορέων. Στα πλαίσια της εναρμόνισης της εθνικής νομοθεσίας με τη νέα κοινοτική Οδηγία 2000/60 [10] ψηφίστηκε ο Νόμος 3199/2003 [9]. Σύμφωνα με το νόμο αυτό εισάγεται μία νέα οργανωτική δομή για την ολοκληρωμένη διαχείριση των υδατικών πόρων που θα γίνεται σε επίπεδο υδρολογικής λεκάνης. Επίσης, η Οδηγία 2000/60 επιτάσσει την ανάκτηση κόστους των υπηρεσιών ύδατος συμπεριλαμβανομένου του κόστους για το περιβάλλον και τους φυσικούς πόρους σύμφωνα με την αρχή «ο ρυπαίνων πληρώνει». Στη συνέχεια θα εξεταστούν τα κακώς κείμενα που αποτελούν συνήθειες και πρακτικές πολλών δεκαετιών και θα γίνουν προτάσεις για την αντιμετώπισή τους στα πλαίσια μιας αποτελεσματικότερης διαχείρισης.

2. ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ

Στην Ελλάδα η γεωργία αποτελεί το μεγαλύτερο χρήστη-καταναλωτή του νερού. Συγκεκριμένα, το 85% των καταναλισκομένων υδατικών πόρων χρησιμοποιείται για αρδευτικούς σκοπούς. Η καλλιεργούμενη γη ανέρχεται σε 34,7 εκατ. στρέμματα, από τα οποία τα 14,3 εκατ. στρέμματα αρδεύονται. Από αυτά το 65% αφορά σε αροτραίες καλλιέργειες, το 24% σε δενδρώδεις καλλιέργειες, το 8% σε κηπευτικές καλλιέργειες και το 3% σε αμπέλια [6].

Τα συλλογικά αρδευτικά έργα αντιστοιχούν στο 44% της αρδευόμενης έκτασης και τα ιδιωτικά έργα στο 56%. Οι πηγές τροφοδοσίας των δημοσίων έργων είναι οι ποταμοί και οι πηγές (42%), οι τεχνητές λίμνες (25%), οι γεωτρήσεις και τα φρέατα (24%), οι φυσικές λίμνες (5%) και οι στραγγιστικές τάφροι (4%) με συνεχή τάση αύξησης των τεχνητών υδατοσυλλογών. Οι πηγές τροφοδοσίας των ιδιωτικών έργων είναι οι γεωτρήσεις (82%), οι ποταμοί και οι πηγές (13%), οι τεχνητές λίμνες (2%) και οι στραγγιστικές τάφροι (3%) [7].

Η εφαρμογή του νερού στον αγρό στα συλλογικά έργα γίνεται κατά 37% με επιφανειακή άρδευση, 53% με τεχνητή βροχή και 10% με στάγδην άρδευση, με τάση μείωσης της επιφανειακής άρδευσης, ενώ στα ιδιωτικά έργα γίνεται κατά 7% με επιφανειακή άρδευση, 49% με τεχνητή βροχή και 44% με στάγδην άρδευση.

Οι μέγιστες ανάγκες των καλλιεργειών της χώρας μας σε νερό έχουν υπολογιστεί σε 4.069 Mm^3/έτος [14].

Αξίζει να σημειωθεί ότι στη χώρα μας υπάρχουν περίπου 200.000 γεωτρήσεις και φρέατα για αρδευτικούς σκοπούς, 40 ποταμοί ή μεγάλοι χείμαρροι, από τους οποίους οι 13 παρουσιάζουν θερινή παροχή μεγαλύτερη των 3 m^3/sec, 21 μεγάλες φυσικές λίμνες, 52 μεγάλες καρστικές πηγές και πάνω από 70 τεχνητές λίμνες με ολικό διαθέσιμο όγκο μεγαλύτερο από $9,5x10^9$ m^3 [16]. Το συνολικό ετήσιο υδατικό δυναμικό της χώρας εκτιμάται σε $70x10^9$ m^3, συμπεριλαμβανομένου και αυτού που εισρέει από τις γειτονικές χώρες ($14x10^9$ m^3). Από αυτό καταναλώνονται ετησίως $5,5x10^9$ m^3 (εξ αυτών $4,7x10^9$ m^3 για τη γεωργία) και εκτιμάται μία αύξηση της κατανάλωσης ετησίως μεγαλύτερη του 3% [15].

Από την επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων των υπαρχουσών Δημοτικών Εγκαταστάσεων Επεξεργασίας Λυμάτων, για σκοπούς άρδευσης, εκτιμάται ότι θα προέκυπτε μία εξοικονόμηση νερού της τάξης των 3,2% σε καθαρό νερό [13]. Στη συνέχεια δίνονται ορισμένα παραδείγματα χρήσης επεξεργασμένων αποβλήτων για αρδευτικούς σκοπούς:

- Λιβαδειά: 3.500 m^3/d για άρδευση βαμβακιού.
- Άμφισσα: 400 m^3/d για άρδευση ελαιοδέντρων.
- Παλαιόκαστρο (Κρήτη): 280 m^3/d για άρδευση ελαιοδέντρων.
- Ζάκρος (Κρήτη): 210 m^3/d για άρδευση ελαιοδέντρων
- Αρχάνες (Κρήτη): 40 m^3/h για άρδευση 14 ha ελαιοδέντρων και αμπελιών.

Η διαχείριση των υδατικών πόρων στα συλλογικά εγγειοβελτιωτικά έργα πραγματοποιείται από 452 φορείς, οι οποίοι είναι όργανα διοίκησης, λειτουργίας και συντήρησης αυτών. Από αυτούς τους φορείς 10 είναι Γενικοί ΟΕΒ, 412 Τοπικοί ΟΕΒ, 2 Ειδικοί Οργανισμοί (Αυτόνομος Οργανισμός Στυμφαλίας Ασωπού Κορινθίας και Οργανισμός Κωπαίδας), 22 Προσωρινές Διοικούσες Επιτροπές και 6 Τοπικές Επιτροπές Άρδευσης [16].

Οι καταναλώσεις νερού και ενέργειας είναι αυξημένες στα δημόσια δίκτυα, όπου καταναλώσεις της τάξης των 1.000 m^3/στρέμμα είναι συνηθισμένες και οι απώλειες φτάνουν και ξεπερνούν το 50%. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι σε έρευνα που έγινε στα 16 αντλιοστάσια του δικτύου Πηνειού Ηλείας [1] κατεγράφησαν καταναλώσεις που κυμαίνονταν από 500 έως 1700 m^3/στρέμμα. Αιτίες είναι η παλαιότητα των δικτύων, η κακή συντήρηση, η έλλειψη πόρων και μέσων, η κακή τιμολόγηση των υπηρεσιών καθώς και η τεχνική ανεπάρκεια των χρηστών. Επακόλουθο της μεγάλης σπατάλης νερού είναι και η μεγάλη κατανάλωση και σπατάλη ενέργειας. Η υπερκατανάλωση ενέργειας προκαλεί αύξηση του κόστους λειτουργίας του δικτύου με συνέπεια την αδυναμία ή απροθυμία εξόφλησης των τελών από τους χρήστες και την επακόλουθη διακοπή ηλεκτροδότησης. Αντίθετα, στα ιδιωτικά έργα, όπου το κόστος άρδευσης είναι σημαντικό και βαρύνει εξ ολοκλήρου τον παραγωγό, υπάρχει κίνητρο για εξοικονόμηση νερού. Έτσι, σε συνδυασμό με τα μικρά μήκη μεταφοράς και τα σύγχρονα μέσα εφαρμογής, οι απώλειες είναι περιορισμένες και οι καταναλώσεις συγκρατούνται στα επίπεδα των 500 m^3/στρέμμα.

Η κοστολόγηση των υπηρεσιών παροχής αρδευτικού νερού και η τιμολογιακή πολιτική της χρήσης του είναι προβληματικές διαδικασίες στη σημερινή ελληνική πραγματικότητα. Η χρέωση γίνεται συνήθως σύμφωνα με την αρδευόμενη έκταση και όχι τον καταναλισκόμενο όγκο. Η τιμολόγηση σύμφωνα με τον καταναλισκόμενο όγκο, ενώ θα οδηγούσε σε ορθολογικότερες καταναλώσεις, συνήθως δεν εφαρμόζεται επειδή πολλοί παραγωγοί χρησιμοποιούν το ίδιο υδροστόμιο αλλά και επειδή οι υδρομετρητές είναι συνήθως εκτός λειτουργίας. Η εκτίμηση του κόστους στα συλλογικά αρδευτικά δίκτυα γίνεται από κάθε φορέα διοίκησης ξεχωριστά, με βάση τα έξοδα λειτουργίας (οι δαπάνες για την άντληση είναι ιδιαίτερα υψηλές δεδομένων των υψηλών καταναλώσεων σε πολλά δίκτυα), τις πληρωμές του προσωπικού διοίκησης και το κόστος συντήρησης που όμως είναι ιδιαίτερα χαμηλό, με αποτέλεσμα την κακή λειτουργική κατάσταση πολλών συλλογικών έργων. Διευκρινίζεται ότι η συντήρηση έχει επισκευαστικό χαρακτήρα και όχι προληπτικό. Επίσης, δεν προβλέπεται κόστος απόσβεσης των έργων. Το κόστος αυτό το αναλαμβάνει ο κρατικός προϋπολογισμός. Το λειτουργικό κόστος του έργου κατανέμεται ανά στρέμμα αρδευόμενης έκτασης. Στον *Πίνακα 1* που ακολουθεί δίνονται μερικά παραδείγματα τιμολόγησης νερού άρδευσης σε συλλογικά έργα.

Στις ιδιωτικές γεωτρήσεις ο χρήστης επιβαρύνεται με το οικονομικό κόστος (κόστος άντλησης, συντήρησης και απόσβεσης εγκατάστασης, άλλα κόστη) όχι όμως με περιβαλλοντικό κόστος και το κόστος φυσικών πόρων.

Πίνακας 1. Τιμολογήσεις αρδευτικού νερού σε συλλογικά έργα

Περιοχή	Φορέας διοίκησης	Τιμολόγιο	Παρατηρήσεις
		€/στρέμ/έτος	
Πεδιάδα Σερρών*	ΤΟΕΒ Ν. Σκοπού	17,91	
	ΤΟΕΒ Μεγαλοχωρίου-Χρυσοχωρίου	5,00	
Τύρναβος Λάρισας*	ΤΟΕΒ Μάτι Τυρνάβου	25	ανεξαρτήτως καλλιέργειας, με επιφανειακό δίκτυο
		31-44	ανάλογα με την καλλιέργεια
Κωπαϊδικό πεδίο [12]	Οργανισμός Κωπαΐδας	8,80	για αγροτεμάχια εντός δικαιοδοσίας Οργανισμού
		14,67	για αγροτεμάχια εκτός δικαιοδοσίας Οργανισμού
Πηνειός Ηλείας [1]	ΤΟΕΒ Σαβαλίων	12	στάγδην άρδευση
		15	άλλες μέθοδοι άρδευσης
	ΤΟΕΒ Λεχαινών	8-25,5	ανάλογα με τον τρόπο άρδευσης και την καλλιέργεια
		€/m^3	
Δυτική Κρήτη [11]	ΟΑΔΥΚ	0,026	άρδευση με φυσική ροή χρήστες εντός ΤΟΕΒ
		0,050-0,082	άρδευση με άντληση χρήστες εντός ΤΟΕΒ
		0,067-0,132	άρδευση με άντληση από χρήστες εκτός ΤΟΕΒ

* Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης (προσωπική επαφή)

Όσον αφορά στην ποιότητα των υδατικών πόρων της χώρας μας θα πρέπει να σημειωθεί ότι η υφαλμύρινση είναι η πρώτη ρύπανση των υπόγειων υδάτων που έχει διαγνωστεί εδώ και πολλά χρόνια και αποτελεί το μεγαλύτερο ποιοτικό πρόβλημα. Υπάρχει η φυσική υφαλμύρινση που οφείλεται στις υδρογεωλογικές συνθήκες και η υφαλμύρινση που σχετίζεται με την υπερεκμετάλλευση των υπόγειων νερών και τη σημαντική ταπείνωση της ελεύθερης επιφάνειας του υπόγειου υδροφορέα σε υδρολογικές λεκάνες ανοικτές στη θάλασσα. Στην πρώτη περίπτωση, αυτή της φυσικής υφαλμύρινσης, μπορούν να αναφερθούν οι παρακάτω περιπτώσεις ποιοτικής υποβάθμισης: η μεγάλη καρστική πηγή Αλμυρού Ηρακλείου, οι πηγές Κιβερίου, η πηγή Αλμυρού Λασιθίου, οι πηγές του καρστικού συστήματος Όσσας στα όρια των νομών Λάρισας-Μαγνησίας, οι πηγές Κάτω Σουλίου Μαραθώνα, οι πηγές Κίρας και Μύλων Ν. Φωκίδας, η καρστική περιοχή Ανατ. Κορινθίας, οι μεγάλες καρστικές πηγές Μεσσηνιακής και Λακωνικής Μάνης, κ.α. Στη δεύτερη περίπτωση, της υφαλμύρινσης λόγω υπερεκμετάλλευσης των υπόγειων νερών, μπορούν να αναφερθούν οι παρακάτω περιπτώσεις ποιοτικής υποβάθμισης: Αργολικό πεδίο, πεδιάδα Κομοτηνής-Ξάνθης, Βόρεια Ρόδος, κάμπος Μαραθώνα, κάμπος Ασωπού-Μολάων Λακωνίας, Αλμυρός Μαγνησίας, δέλτα Έβρου, Ανθεμούντα Χαλκιδικής, Ίρια και Ερμιονίδα Ν. Αργολίδας, κάμπος Ιεράπετρας, περιοχή Τυμπακίου Ν. Ηρακλείου, κάμπος Ρεθύμνου, κ.α. καθώς και οι περισσότεροι υδροφορείς σε κοκκώδεις σχηματισμούς των νησιών του Αιγαίου [17].

Επίσης, προβλήματα ποιότητας υπόγειων υδάτων σχετίζονται με το φαινόμενο της νιτρορύπανσης. Η νιτρορύπανση φαίνεται να έχει τοπικό έως σημειακό χαρακτήρα και επικεντρώνεται στα υπόγεια νερά σε ζώνες όπου ασκείται εντατική γεωργία με αζωτολιπάνσεις, και σε οικιστικές ζώνες όπου λειτουργούν απορροφητικοί βόθροι. Αναφέρεται ότι οι πεδιάδες Σερρών, η Θεσσαλία, το Κωπαϊδικό και Αργολικό πεδίο, η λεκάνη Πηνειού Ηλείας, οι πεδιάδες Κιλκίς και Θεσσαλονίκης και οι πεδιάδες Άρτας και Ιωαννίνων ανήκουν στις ζώνες προτεραιότητας με τάσεις να καταστούν προβληματικές από άποψη νιτρορύπανσης [16].

Προβλήματα ποιότητας επιφανειακών υδάτων εντοπίζονται κυρίως στους ποταμούς Πηνειό Λάρισας, Αξιό, Στρυμόνα και Έβρο, ενώ αξίζει να σημειωθεί η πολύ καλή ποιοτική κατάσταση του Νέστου στην είσοδό του στη χώρα [15].

3. ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΠΟΥ ΑΝΤΙΚΕΙΝΤΑΙ ΠΡΟΣ ΤΗ ΝΕΑ ΟΔΗΓΙΑ

Είναι αντιληπτό ότι οι υπερκαταναλώσεις νερού που πραγματοποιούνται στον αγροτικό τομέα με αποτέλεσμα τη σπατάλη του σημαντικού αυτού φυσικού πόρου, όπως επίσης και την υποβάθμιση των υπόγειων υδροφορέων μέσω της υφαλμύρινσης, δεν συνάδουν με το περιβαλλοντικό πνεύμα της Οδηγίας. Επίσης, η ταυτόχρονη αξιοποίηση υδατικών πόρων από κρατικούς ή άλλους φορείς (ΔΕΗ, ΔΕΒ, Δασαρχεία, Διευθύνσεις Γεωργίας, ΤΥΔΚ-Κοινότητες κα) και ιδιώτες, χωρίς να γνωρίζει ο ένας τομέας αν στην ίδια υδρολογική λεκάνη προγραμματίζεται έργο από κάποιον άλλον, είναι κατάσταση που αντίκειται προς την λογική της ολοκληρωμένης διαχείρισης σε επίπεδο υδρολογικής λεκάνης [4]. Δεν υπάρχει, τουλάχιστον μέχρι στιγμής, ο απαραίτητος ενιαίος προγραμματισμός, συνεννόηση και συντονισμός για τα έργα αξιοποίησης υδατικών πόρων από διάφορους χρήστες (μεμονωμένοι ιδιώτες και συλλογικοί φορείς) ή κρατικούς φορείς στην ίδια υδρολογική λεκάνη.

Ένα άλλο σημαντικό πρόβλημα που υπάρχει με τη διαχείριση των υδατικών πόρων στον αγροτικό χώρο είναι η ελλιπής και αποσπασματική γνώση των διαθεσίμων ποσοτήτων και των καταναλώσεων. Το πρόβλημα αυτό εμφανίζεται κάθε φορά που πραγματοποιείται μια έρευνα ή μελέτη και χρειάζονται στοιχεία παροχών σε υδατορρεύματα και καταναλώσεων μέσα σε δίκτυα. Οι μετρήσεις παροχών είναι περιορισμένες σε αριθμό και συγχρόνως είναι συχνά αμφίβολης ποιότητας. Όσον αφορά στις καταναλώσεις, βασίζονται κυρίως στις καταναλώσεις ενέργειας για άντληση και όχι σε μέτρηση παροχών. Το γεγονός αυτό οφείλεται στην κακή συντήρηση των παροχομέτρων και είναι λυπηρό διότι στερεί τους υπεύθυνους φορείς από την δυνατότητα να γνωρίζουν την πραγματική κατάσταση λειτουργίας των δικτύων και να προβούν σε ανάλυση λειτουργίας τους.

Η δυσκολία εκτίμησης των καταναλώσεων έγινε φανερή και κατά τη σύνταξη αυτού του άρθρου όταν, προκειμένου να συλλέξουμε στοιχεία για τις καταναλώσεις στον αγροτικό τομέα ανά υδατικό διαμέρισμα, ανατρέξαμε στο Σχέδιο Δράσης που έχει εκπονηθεί για το Υπουργείο Ανάπτυξης [15]. Διαπιστώθηκε λοιπόν ότι σε πολλά Υδατικά Διαμερίσματα γινόταν απλώς εκτίμηση των υδατικών αναγκών με μοντέλα εξατμισοδιαπνοής και υπολογιζόταν η κατανάλωση βάσει κάποιων παραδοχών στην αποτελεσματικότητα μεταφοράς και εφαρμογής. Προφανώς, το γεγονός αυτό οφείλεται στο ότι δεν υπάρχει καταγραφή και συγκέντρωση σε κεντρικό επίπεδο της κατανάλωσης νερού σε ετήσια βάση σε κάθε δίκτυο και γεώτρηση.

Σημαντικό επίσης είναι το πρόβλημα των παρανόμων γεωτρήσεων που οδηγούν σε υπερεκμετάλλευση των υπογείων υδροφορέων με τα προαναφερθέντα προβλήματα. Παρόλο που και στον προγενέστερο νόμο για τους υδατικούς πόρους υπήρχε η έννοια του ‘νερού-κοινωνικού αγαθού’ (ο κάθε χρήστης μπορεί να χρησιμοποιήσει υδατικούς πόρους μέχρι να καλύψει τις ανάγκες του - ορθολογικά εκτιμώμενες - και πέραν αυτού

οι πλεονάζουσες ποσότητες ανήκουν στο κοινωνικό σύνολο), έχει αναπτυχθεί η αντίληψη ότι το νερό μιας ιδιωτικής γεώτρησης ανήκει στον ιδιοκτήτη της, ο οποίος μπορεί να αντλεί όση ποσότητα επιθυμεί (να το εμπορεύεται επίσης) και να μην πληρώνει κανένα περιβαλλοντικό κόστος για αυτή τη χρήση.

4. ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

Η καλή γνώση της υφισταμένης κατάστασης είναι βασική προϋπόθεση για την αντιμετώπιση του προβλήματος. Είναι απαραίτητο, τόσο σε τοπικό όσο και σε κεντρικό επίπεδο να υπάρχουν αξιόπιστες πληροφορίες για τις ανάγκες των φυτών, τις καταγεγραμμένες παροχές και πιέσεις, όπως επίσης και τους καταναλωθέντες όγκους ετησίως σε κάθε συλλογικό δίκτυο. Στοιχεία επίσης σχετικά με τις καταναλώσεις και τη στάθμη του υπόγειου υδροφορέα θα πρέπει να υπάρχουν για κάθε γεώτρηση. Πρέπει να εκλείψουν οι παράνομες γεωτρήσεις. Έχοντας γνώση της υφισταμένης κατάστασης (διαθέσιμο υδατικό δυναμικό, ανάγκες σε νερό, καταναλώσεις, προβλήματα που παρουσιάζουν τα συλλογικά δίκτυα, στάθμη των υδροφορέων) θα είναι δυνατόν να προγραμματιστούν ορθολογικά νέα έργα, όπως και έργα αναβάθμισης και εκσυγχρονισμού των ήδη υπαρχόντων και να γίνει καλύτερη διαχείριση των υφισταμένων υποδομών. Η τιμολόγηση του νερού πρέπει επίσης να συναρτάται απαραιτήτως προς τον καταναλισκόμενο όγκο βάσει ενός προοδευτικού τιμολογίου. Το κόστος του νερού πρέπει να αποτελεί κίνητρο ώστε οι χρήστες του να το χρησιμοποιούν αποδοτικά. Η Οδηγία 2000/60 για να πετύχει τους στόχους της αειφόρου χρήσης των υδατικών πόρων εφαρμόζει την αρχή «ο ρυπαίνων πληρώνει» και θεσπίζει οικονομικά μέσα (τιμολόγηση πού επιτρέπει την ανάκτηση του κόστους των υπηρεσιών ύδατος, του περιβαλλοντικού κόστους και του κόστους των πόρων). Η πλήρης εκμετάλλευση των ως άνω οικονομικών μέσων θα συμβάλει στην αειφόρο διαχείριση των υδατικών πόρων. Τα μέτρα αυτά πρέπει να εφαρμοστούν τόσο στους χρήστες συλλογικών δικτύων όσο και ιδιωτικών γεωτρήσεων.

Τα δεδομένα που προαναφέρθηκαν θα δίνουν τη δυνατότητα στο τέλος κάθε καλλιεργητικής περιόδου να γίνεται εκτίμηση της αποτελεσματικότητας χρήσης του νερού με στόχο την περαιτέρω βελτίωσή της. Για την επίτευξη του στόχου αυτού πρέπει να μειωθούν οι απώλειες σε όλα τα στάδια, μεταφορά, διανομή και εφαρμογή του αρδευτικού νερού. Συγχρόνως, θα παρακολουθείται η ανάπτυξη των αρδεύσεων μέσα στην περίμετρο και ο βαθμός αξιοποίησης των έργων. Η συντήρηση των έργων πρέπει να γίνεται μέσα στα πλαίσια πρόληψης και όχι επισκευής. Το κόστος ενός καλού επιπέδου συντήρησης είναι ετησίως 1% της αρχικής επένδυσης για το δίκτυο των αγωγών, και 3-5 % για το αντλιοστάσιο [2].

5. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΒΕΛΤΙΩΜΕΝΗ ΟΡΓΑΝΩΤΙΚΗ ΔΟΜΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Βάσει του νόμου 3199/2003 [9] συστήθηκαν η Εθνική Επιτροπή Υδάτων, το Εθνικό Συμβούλιο Υδάτων, η Κεντρική Υπηρεσία Υδάτων, η Διεύθυνση Υδάτων και το Περιφερειακό Συμβούλιο Υδάτων σε κάθε Περιφέρεια. Τόσο το Εθνικό όσο και τα Περιφερειακά Συμβούλια Υδάτων είναι όργανα δημόσιας διαβούλευσης.

Η Εθνική Επιτροπή Υδάτων χαράσσει την πολιτική για την προστασία και διαχείριση των υδάτων, παρακολουθεί και ελέγχει την εφαρμογή της και εγκρίνει, μετά από εισήγηση του Υπουργού Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημοσίων Εργων και γνώμη του Εθνικού Συμβουλίου Υδάτων, τα εθνικά προγράμματα προστασίας και διαχείρισης του υδατικού δυναμικού της χώρας. Η Εθνική Επιτροπή Υδάτων υποβάλλει στη Βουλή και στο Συμβούλιο Υδάτων ετήσια έκθεση σχετικά με την κατάσταση του

υδάτινου περιβάλλοντος της χώρας, την εφαρμογή της νομοθεσίας για την προστασία και διαχείριση των υδάτων, καθώς και για τη συμβατότητα με το κοινοτικό κεκτημένο.

Η Κεντρική Υπηρεσία Υδάτων (ΚΥΥ) που συστήθηκε στο ΥΠΕΧΩΔΕ καταρτίζει τα εθνικά προγράμματα προστασίας και διαχείρισης του υδατικού δυναμικού της χώρας και παρακολουθεί και συντονίζει την εφαρμογή τους. Τα προγράμματα, πριν την έγκρισή τους εισάγονται για διαβούλευση στο Εθνικό Συμβούλιο Υδάτων. Η ΚΥΥ καταρτίζει επίσης την ετήσια έκθεση της Εθνικής Επιτροπής Υδάτων, εισηγείται τους γενικούς κανόνες κοστολόγησης και τιμολόγησης των υδάτων, παρακολουθεί την τήρησή τους, παρακολουθεί σε εθνικό επίπεδο την ποιότητα και ποσότητα των υδάτων σε συνεργασία με τις Διευθύνσεις Υδάτων των Περιφερειών και μεριμνά για την ανάπτυξη και λειτουργία εθνικού δικτύου παρακολούθησης της ποιότητας και της ποσότητας των υδάτων. Επίσης, η ΚΥΥ διαχειρίζεται βάση υδρολογικών και μετεωρολογικών δεδομένων σε εθνικό δίκτυο και μεριμνά για τη διαρκή ενημέρωσή της, κ.α.

Η προαναφερθείσα οργανωτική δομή εξασφαλίζει μια διαχείριση σε επίπεδο υδρολογικής λεκάνης, όπως απαιτεί η Οδηγία 2000/60, αλλά δεν γίνεται φανερό πώς θα εξασφαλισθεί η βελτίωση της αποτελεσματικότητας των οργανισμών που έχουν την ευθύνη των συλλογικών έργων (ΓΟΕΒ, ΤΟΕΒ κ.ά.) και πώς θα υποστηριχθούν οι οργανισμοί αυτοί τόσο σε τεχνικό όσο και οικονομικό επίπεδο για να φέρουν σε πέρας το έργο που τους έχει ανατεθεί. Με βάση τη διεθνή εμπειρία, τα αγροτικά δίκτυα με καλό επίπεδο συντήρησης δύσκολα επιτυγχάνουν ισοσκελισμένους προϋπολογισμούς (οι αγροτικές εκμεταλλεύσεις δεν μπορούν να αντέξουν υψηλό κόστος νερού), γεγονός που υποχρεώνει τους διαχειριστές να προστρέχουν σε επιδοτήσεις. Ένας τρόπος αντιμετώπισης του προβλήματος που εφαρμόζεται από την Société du Canal de Provence (SCP) είναι η υψηλότερη κοστολόγηση στο βιομηχανικό και αστικό νερό και η χαμηλότερη κοστολόγηση του αγροτικού (έμμεση επιδότηση της βιομηχανίας και των αστικών κέντρων στη γεωργία). Φυσικά αυτό είναι εφικτό επειδή η συγκεκριμένη εταιρεία κοινής ωφέλειας είναι ο διαχειριστής του συνόλου των υδατικών πόρων της Προβηγκίας (Ν. Γαλλία).

Προκειμένου να υπάρξει μια ουσιαστική τεχνική υποστήριξη των οργανισμών διαχείρισης των συλλογικών έργων, αναβάθμιση της συντήρησης και λειτουργικότητας, όπως επίσης και έλεγχος των γεωτρήσεων που λειτουργούν (όγκοι που αντλούνται, παράνομες γεωτρήσεις), πρέπει να δημιουργηθούν οργανισμοί κοινής ωφέλειας που θα αναλάβουν αυτόν το ρόλο για ευρύτερες περιοχές (ένα σύνολο υδατικών διαμερισμάτων). Οι ΤΟΕΒ, ΓΟΕΒ και οι άλλοι οργανισμοί που σχετίζονται με τη διαχείριση του αγροτικού νερού θα συνεχίσουν το έργο τους και θα συνεργάζονται με τους νέους αυτούς οργανισμούς. Οι οργανισμοί αυτοί θα παρακολουθούν την εξέλιξη των δικτύων, θα τα αναλύουν και θα εντοπίζουν τα προβλήματά τους. Θα ελέγχουν τις μελέτες νέων δικτύων ή τις μελέτες αναβάθμισης και εκσυγχρονισμού ήδη λειτουργούντων δικτύων. Θα επικουρούν τους προαναφερθέντες οργανισμούς (ΤΟΕΒ, ΓΟΕΒ κα) και σε θέματα συντήρησης, οικονομικής και εμπορικής διαχείρισης. Ένα επιτελείο γεωπόνων, μηχανικών, οικονομολόγων, ειδικών στη διαχείριση θα επικουρούν όλους τους οργανισμούς διαχείρισης υδατικών πόρων στην περιοχή ευθύνης του οργανισμού, αναπτύσσοντας τεχνογνωσία που θα μπορούσε να επιτρέψει μια διεθνή δραστηριότητα του οργανισμού. Στο συμβούλιο διοίκησης των οργανισμών αυτών θα πρέπει να συμμετέχουν εκπρόσωποι της κεντρικής διοίκησης, εκλεγμένοι άρχοντες της περιοχής, εκπρόσωποι των χρηστών και τεχνοκράτες με εμπειρία στο αντικείμενο. Η συμμετοχή των εκπροσώπων των τοπικών φορέων και των χρηστών θα επιτρέψει στο διοικητικό συμβούλιο αυτών των οργανισμών να αποτελέσουν ένα επί πλέον βήμα δημόσιας διαβούλευσης που είναι αναγκαία στην διαχείριση των υδατικών πόρων. Σημειώνεται ότι οι ευρείες διαβουλεύσεις των ενδιαφερομένων φορέων με την

συμμετοχή όλων των χρηστών είναι βασικής σημασίας για την ανάπτυξη και αποδοχή πολιτικών τιμολόγησης με σαφείς περιβαλλοντικούς στόχους [3].

Επίσης, είναι αναγκαία η δημιουργία γραφείων αρδεύσεων που θα μπορούσαν να υπάγονται στον προαναφερθέντα οργανισμό, με σκοπό την ενημέρωση και εκπαίδευση των αγροτών σε θέματα άρδευσης. Επίσης, τα γραφεία αρδεύσεως μπορούν να επιφορτιστούν και με τον αναγκαίο έλεγχο των χαρακτηριστικών των αρδευτικών συστημάτων μέσα σε κάθε αρδευτική περίμετρο. Τα συστήματα αυτά πρέπει να είναι πιστοποιημένα και με χαρακτηριστικά που συνάδουν με αυτά του δικτύου. Με αυτό τον τρόπο δεν θα υπάρχει κίνητρο να επέμβουν οι χρήστες στο συλλογικό δίκτυο (αφαίρεση περιοριστών παροχής και ρυθμιστών πίεσης), και η αποτελεσματικότητα των αρδεύσεων θα είναι υψηλότερη. Τα γραφεία αρδεύσεων θα πρέπει να αναλάβουν και τον έλεγχο στη χρήση του νερού των γεωτρήσεων (καταναλωθέντες όγκοι νερού, αρδευτικά συστήματα που χρησιμοποιούνται, αποτελεσματικότητα νερού άρδευσης).

Πρέπει απαραίτητα να γίνεται χρέωση του νερού σύμφωνα με τον καταναλισκόμενο όγκο, γεγονός που θα οδηγήσει σε ορθολογικότερες καταναλώσεις. Στην κατεύθυνση αυτή μπορεί να βοηθήσει η χρήση υδροληψιών νέας τεχνολογίας με ηλεκτρονικές κάρτες. Έχουν ήδη χρησιμοποιηθεί στα δίκτυα της Foggia στην Ιταλία [8]. Ο κάθε χρήστης ανάλογα με τις καλλιέργειες και την έκταση που αρδεύει πιστώνεται μια ποσότητα που χρεώνεται με το κανονικό τιμολόγιο του οργανισμού διαχείρισης. Για κάθε περεταίρω κατανάλωση η χρέωση γίνεται με προοδευτικά αυξανόμενο τιμολόγιο. Η τεχνολογία αυτή έχει οδηγήσει σε 20% μείωση της κατανάλωσης σε σχέση με τις συμβατικές υδροληψίες. Η χρήση των νέων αυτών υδροληψιών μπορεί να συνδυαστεί με τιμολόγηση που θα λαμβάνει υπόψη το οικονομικό, το περιβαλλοντικό κόστος και κόστος φυσικών πόρων, σύμφωνα με την Οδηγία 2000/60.

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η Οδηγία 2000/60 έχει έντονη την περιβαλλοντική διάσταση. Εισάγει το περιβαλλοντικό κόστος και το κόστος φυσικών πόρων και την ολοκληρωμένη διαχείριση σε επίπεδο υδρολογικής λεκάνης. Προκειμένου να υπάρξει αποτελεσματικότητα στην νέα οργανωτική δομή θα πρέπει, συμπληρωματικά με την όλη οργάνωση που έχει ήδη αναπτυχθεί, να δημιουργηθούν νέοι ευέλικτοι οργανισμοί που θα έχουν το κατάλληλο προσωπικό, την τεχνογνωσία και το μέγεθος για να φέρουν σε πέρας επιτυχώς, μαζί με τους υπάρχοντες οργανισμούς, το έργο της διαχείρισης των υδατικών πόρων.

Συγχρόνως, είναι απαραίτητο με τα προτεινόμενα γραφεία αρδεύσεων να υπάρξουν ειδικοί επιστήμονες κοντά στους αγρότες που θα τους καθοδηγούν για μια αποτελεσματικότερη χρήση του αρδευτικού νερού. Είναι ένα θέμα σημαντικό και είναι κάτι που λείπει από την ελληνική πραγματικότητα.

Η χρέωση του νερού πρέπει να γίνεται σύμφωνα με τον καταναλισκόμενο όγκο και η χρήση συστημάτων νέας τεχνολογίας όπως οι υδροληψίες με ηλεκτρονικές κάρτες μπορεί να συμβάλει στην ορθολογικότερη κατανάλωση νερού.

Πιστεύουμε ότι με τις βελτιώσεις αυτές θα οδηγηθούμε σε μια καλύτερη διαχείριση των υδατικών πόρων στη χώρα μας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Βελλόπουλος, Δ., 2002. *Ανάλυση λειτουργίας αρδευτικού δικτύου Πηνειού Ηλείας-Προβλήματα και προτάσεις αντιμετώπισης*. Πτυχιακή Μελέτη. Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών. Σελ. 69.
2. C.E.M.A.G.R.E.F., 1983. *Calcul des réseaux ramifiés sous pression*. No 506, Decembre, pp. 120.
3. COM(2000)477, Πολιτική τιμολόγησης για την ενίσχυση της αειφορίας των υδάτινων πόρων.
4. Γκούμας, Κ., 1996. Η Διαχείριση των Υδατικών Πόρων στη Θεσσαλία και η Λειτουργία του Νομοθετικού Πλαισίου (Νόμος 1739/87). *Πρακτικά 2ου Πανελληνίου Συνεδρίου ΓΕΩ.Ε.Ε., Εγγειοβελτιωτικά Έργα, Διαχείριση Υδατικών Πόρων, Εκμηχάνιση της Γεωργίας*. Λάρισα, 24-27 Απριλίου 1996, σελ. 104-131.
5. Δέρκας, Ν., 2003. Αειφορία των αρδεύσεων. Το Νερό στον 21ο Αιώνα: Προβλήματα και Προοπτικές. *Πρακτικά Συνεδρίου ΓΕΩΤΕΕ*. Κρήτη, 21-23 Μαρτίου 2003.
6. ΕΣΥΕ., 2001. *Γεωργική Στατιστική της Ελλάδας Έτους 2001*.
7. Karamanos, A., Aggelides, S., and Londra, P., 2004. Irrigation systems performance in Greece. *2rd Workshop on Water Saving in Mediterranean Agriculture*. Hammamet, Tunisia, 25-28 June 2004.
8. Le grandi opere idriche del Consorzio per la Bonifica della Capitanata, Foggia, 2004. pp. 63.
9. Νόμος 3199/2003, Προστασία και Διαχείριση των Υδάτων – Εναρμόνιση με την Οδηγία 2000/60/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου.
10. Οδηγία 2000/60/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 23-10-2000 για τη θέσπιση πλαισίου κοινοτικής δράσης στον τομέα της πολιτικής των υδάτων.
11. Οργανισμός Ανάπτυξης Δυτικής Κρήτης (ΟΑΔΥΚ), 2001. *Έργα Ανάπτυξης Υδατικών Πόρων*. Χανιά Κρήτης.
12. Πανταζής, Χ., 2000. *Διερεύνηση και επίλυση προβλημάτων αρδευτικού δικτύου Κωπαιδικού πεδίου*. Πτυχιακή Μελέτη. Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών. Σελ. 84
13. Tsagarakis, K.P., Tsoumanis, P., Chartzoulakis, K. And Angelakis, A.N., 2001. "Water Resources Status Including Wastewater Treatment and Reuse in Greece Related Problems and Prospectives". IWRA, *Water International*, Volume 26, No 2, pp. 252-258, June 2001.
14. Tsanis, K., P.A. Londra and A.N. Angelakis, 1996. Assesment of Water Needs for Irrigation in the Island of Crete. *2nd International Symposium on Irrigation of Horticulture Crops*, 8-13 September, 1996, pp.41-48.
15. Υπουργείο Ανάπτυξης, 2003. *Σχέδιο Προγράμματος Διαχείρισης των Υδατικών Πόρων της Χώρας*.
16. Υπουργείο Γεωργίας, 2003. *Το υδατικό δυναμικό της Ελλάδας*. Σελ. 31.
17. Υπουργείο Γεωργίας, 2000. *Διαχείριση των υδατικών πόρων στον αγροτικό τομέα*. Σελ 43.

(218)

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ ΣΤΗΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΛΑΜΠΟΚΙΟΥ ΜΕ ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ WAVE

Ι. Αλεξίου[(1)], Δ. Παπαμιχαήλ[(2α)] και Β. Αντωνόπουλος[(2β)]
[(1)] ΕΘΙΑΓΕ, Ινστιτούτο Χαρτογράφησης και Ταξινόμησης Εδαφών Λάρισας, Θεοφράστου 1, Λάρισα 413 35, alexiou@nagref.gr
[(2)] Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Γεωπονική Σχολή, 54124 Θεσσαλονίκη, [α]papamich@agro.auth.gr, [β]vasanton@agro.auth.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία γίνεται προσομοίωση του υδατικού ισοζυγίου του εδάφους και της ανάπτυξης της καλλιέργειας με το μονοδιάστατο μοντέλο WAVE, χρησιμοποιώντας για την έκφραση της υδραυλικής αγωγιμότητας δύο διαφορετικές σχέσεις. Οι πειραματικές μετρήσεις προέρχονται από πηλώδη εδάφη στον Παλαμά (Κεντρική Ελλάδα), καλλιεργημένα με καλαμπόκι κατά τις καλλιεργητικές περιόδους 1998 και 1999. Η ποιοτική και η ποσοτική διαδικασία αξιολόγησης έδειξε ότι οι προσομοιώσεις με τη σχέση του van Genughten περιγράφουν με οριακά μεγαλύτερη ακρίβεια την εδαφική υγρασία απ' ότι η σχέση του Gardner.

EFFECT OF HYDRAULIC CONDUCTIVITY ON CORN CROP SIMULATION WITH THE WAVE MODEL

I. Alexiou[1], D. Papamichail[2a] and V. Antonopoulos[2b]
[1]NAGREF/Institute for Soil Mapping and Classification, 1, Theophrastos Str, 41335 Λάρισα, alexiou@nagref.gr
[2]Aristotle University of Thessaloniki, Sch. of Agriculture, 54124 Thessaloniki, [a]papamich@agro.auth.gr, [b]vasanton@agro.auth.gr

ABSTRACT

In the present work the soil water balance and crop growth are simulated using the one-dimensional WAVE-model and two different relationships for the hydraulic conductivity. The field and crop data were collected from a loamy soil (located at Palama area, Central Greece), cultivated with maize, during the 1998 and 1999 growing periods. The qualitative and quantitative procedures showed that the simulations based on the van Genughten's hydraulic conductivity relationship, describe slightly better the soil water content than the Gardner's one.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο πεδίο της διαχείρισης των φυσικών πόρων και ιδιαίτερα των υδατικών έχει καθιερωθεί τις τελευταίες δεκαετίες η πρακτική εφαρμογή των μαθηματικών μοντέλων. Τα μαθηματικά μοντέλα χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο στο σχεδιασμό και στη διαχείριση της εκμετάλλευσης των φυσικών πόρων, όπως επίσης και στην πρόβλεψη και την αποτίμηση των επιπτώσεων της ανθρώπινης δραστηριότητας στο περιβάλλον.

Σ' όλα τα μοντέλα προσομοίωσης του υδατικού ισοζυγίου οι υδραυλικές ιδιότητες του εδάφους εκφράζονται με τη συνάρτηση της χαρακτηριστικής καμπύλης (ΧΚ) και της υδραυλικής αγωγιμότητας (ΥΑ). Για τη χαρακτηριστική καμπύλη έχουν προταθεί διάφορες εμπειρικές σχέσεις [1, 2, 3], όπως και για την υδραυλική αγωγιμότητα [1, 3, 4]. Η πλέον χρησιμοποιούμενη σχέση για την ΧΚ είναι η σχέση του van Genuchten [1] και για την ΥΑ οι σχέσεις του van Genuchten [1] και του Gardner [4]. Η σχέση ΥΑ του van Genuchten χρησιμοποιεί τις παραμέτρους της χαρακτηριστικής καμπύλης, ενώ οι παράμετροι της σχέσης του Gardner προσδιορίζονται με πεδοσυναρτήσεις [5], από εύκολα μετρήσιμα χαρακτηριστικά του εδάφους όπως είναι η μηχανική σύσταση.

Οι δύο αυτές σχέσεις χρησιμοποιούνται στο μοντέλο WAVE [6] και γίνεται σύγκριση των αποτελεσμάτων του μοντέλου, προκειμένου να διαπιστωθεί η καταλληλότητάς τους για παρόμοιες εφαρμογές. Το μοντέλο WAVE έχει χρησιμοποιηθεί σε πολλές εφαρμογές, από τις οποίες λίγες αναφέρονται σε μεσογειακές συνθήκες [7].

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1 Περιγραφή του μοντέλου

Το μοντέλο WAVE (Water and Agrochemicals in soil, crop and Vadose Environment) [6], που αναπτύχθηκε από το πανεπιστήμιο του Leuven, είναι ένα αριθμητικό, μονοδιάστατο, ντετερμινιστικό μοντέλο. Η κίνηση του νερού περιγράφεται με την εξίσωση Richards, η λύση της οποίας γίνεται με την αριθμητική μέθοδο των πεπερασμένων διαφορών σε συνδυασμό με το επαναληπτικό σχήμα των Newton-Raphon, η χαρακτηριστική καμπύλη περιγράφεται με το παραμετρικό μοντέλο του van Genughten [1] (Εξ.1) και η υδραυλική αγωγιμότητα μπορεί να περιγραφεί με τη σχέση των Mualem-van Genughten [1] (Εξ. 2) ή τη σχέση του Gardner [4] (Εξ. 3).

$$\theta(h) = \theta_r + (\theta_s - \theta_r)/[1 + (a|h|)^n]^m \quad (1)$$

$$K(h) = K_s\{1 - (a \cdot h)^{n-1}[1 + (\alpha h)^n]^{-m}\}^2 / [1 + (ah)^n]^{m/2} \quad (2)$$

$$K(h) = K_s / (1 + (b \cdot h)^N) \quad (3)$$

όπου θ η υγρασία του εδάφους ($L^3\ L^{-3}$), θ_r η υπολειμματική υγρασία ($L^3\ L^{-3}$), θ_s η υγρασία του εδάφους στον κορεσμό ($L^3\ L^{-3}$), h το ύψος πίεσης (L), a, n και m παράμετροι που εξαρτώνται από τις εδαφικές ιδιότητες, K η υδραυλική αγωγιμότητα, K_s είναι η υδραυλική αγωγιμότητα στον κορεσμό, b και N είναι εμπειρικές παράμετροι που προσδιορίζονται από εύκολα μετρήσιμα χαρακτηριστικά του εδάφους με τις παρακάτω πεδοσυναρτήσεις [5].

$$\ln(b) = -2{,}64 - 0{,}0019(Sa) + 0{,}05(Cl) + 0{,}506\ln(K_s) \quad (4)$$

$$\ln(N) = -2{,}64 - 0{,}019\ln(Cl) - 0{,}0489\ln(Si) \quad (5)$$

όπου Sa, Cl και Si είναι τα ποσοστά % της άμμου της αργίλου και της ιλύος αντίστοιχα. Το μοντέλο υπολογίζει το ρυθμό ανάπτυξης της καλλιέργειας, τη συσσώρευση της ξηρής φυτικής μάζας στα διάφορα όργανα του φυτού και το δείκτη φυλλικής επιφάνειας ως συνάρτηση κλιματικών παραμέτρων (ακτινοβολία και θερμοκρασία) και

φαινολογικών παραμέτρων του φυτού. Χρησιμοποιεί χρονικό βήμα μικρότερο της μιας ημέρας για να υπολογίσει τις μεταβλητές που σχετίζονται με έντονα δυναμικές διαδικασίες (κίνηση νερού). Ενώ χρησιμοποιεί σταθερό χρονικό βήμα μιας ημέρας για λιγότερο δυναμικές διαδικασίες, όπως η ανάπτυξη της καλλιέργειας.

2. 2 Πειραματικά δεδομένα και μετρήσεις

Τα πειραματικά δεδομένα προέρχονται από πειραματικούς αγρούς του Σταθμού Γεωργικής Έρευνας Παλαμά Καρδίτσας, καλλιεργημένους με καλαμπόκι κατά τις καλλιεργητικές περιόδους 1998 και 1999. Η διεξαγωγή των πειραμάτων είχε γίνει στα πλαίσια του χρηματοδοτούμενου από το Β' Κ.Π.Σ., ερευνητικού έργου «Υπολογισμός αναγκών σε νερό άρδευσης ορισμένων καλλιεργειών». Η έκταση των πειραματικών αγρών ήταν 6 στρέμματα με διαστάσεις 100x60 μέτρα. Τα υβρίδια καλαμποκιού που καλλιεργήθηκαν ήταν κατά το 1998 το υβρίδιο ΔΙΑΣ και κατά το έτος 1999 το υβρίδιο ΑΡΗΣ. Η καλλιέργεια του καλαμποκιού γίνονταν σε γραμμές με απόσταση μεταξύ τους 75 cm και πυκνότητα φυτών 65000 ανά στρέμμα. Το 1998 η σπορά έγινε στις 15 Απριλίου και το 1999 στις 27 Απριλίου. Η περίοδος προσομοίωσης είναι από τις 15 Απριλίου μέχρι 12 Σεπτεμβρίου το 1998 και από τις 27 Απριλίου μέχρι 24 Σεπτεμβρίου το 1999.

Σε δύο θέσεις κάθε πειραματικού αγρού, Α και Β, που δέχονταν διαφορετική δόση άρδευσης από αυτοκινούμενο εκτοξευτήρα ασύμμετρης γωνίας λειτουργίας [8] γίνονταν μετρήσεις του αρδευτικού νερού με βροχόμετρα, της εδαφικής υγρασίας με τη συσκευή TRIME-FM, του δείκτη φυλλικής επιφάνειας με τη συσκευή SunScan, και της παραγωγής. Το 1998 εφαρμόστηκαν με άρδευση σε έξι δόσεις στη θέση Α 270 mm και στη θέση Β 160 mm, ενώ το 1999 εφαρμόστηκαν 280 mm και 166 mm αντίστοιχα και πάλι σε έξι δόσεις. Η βροχόπτωση κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου του 1998 ήταν 154 mm και του 1999 ήταν 148 mm.

Οι φυσικοχημικές ιδιότητες των εδαφών φαίνονται στον Πίνακα 1. Οι παράμετροι του μοντέλου χαρακτηριστικής καμπύλης του van Genughten (Πίνακας 2) προσδιορίστηκαν από αδιατάρακτα εδαφικά δείγματα σε τρία βάθη 25, 60 και 110 cm με τη συσκευή πιέσεως της Soil moisture equipment και το πρόγραμμα RETC [9]. Στον Πίνακα 2 δίνονται επίσης οι υπολογισμένες με τις εξισώσεις (4) και (5) τιμές των παραμέτρων b και N της σχέσης του Gardner, καθώς και οι μετρήσεις υδραυλικής αγωγιμότητας στον κορεσμό (K_s), που έγιναν σε διάφορα βάθη με το περατόμετρο Guelph.

Πίνακας 1. Τιμές εδαφικών ιδιοτήτων στα εδάφη πειραματισμού το 1998 και το 1999.

Βάθος cm	Άμμος %	Ιλύς %	Άργιλος %	Χαρακτη-ρισμός	$CaCO_3$ %	Οργ. Ουσ. %	p_b gr/cm^3
Έδαφος πειραματικού 1998							
0-30	37	45	18	L	1,89	1,34	1,45
30-95	29	55	16	SiL	4,2	1,5	1,55
95-140	23	47	30	CL	4,2	1,15	1,43
Έδαφος πειραματικού 1999							
0-48	47	35	18	L	2,1	1,1	1,51
48-75	69	22	9	SL	4,4	0,4	1,55
75-140	23	44	33	CL	5,7	1,07	1,43

Η εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας αναφοράς υπολογίστηκε με τη μέθοδο Penman-Monteith [10, 11, 12] από τις τιμές των κλιματολογικών παραμέτρων που

καταγράφονταν από παρακείμενο μετεωρολογικό σταθμό δικαιοδοσίας του ΥΑΑΤ. Η δυναμική εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας υπολογίστηκε από την εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας αναφοράς και τους φυτικούς συντελεστές κατά στάδιο της καλλιέργειας όπως προτείνονται για τις Ελληνικές συνθήκες [10, 13].

Πίνακας 2. Τιμές των παραμέτρων της εξίσωσης ΧΚ του van Genuchten και της εξίσωσης ΥΑ του Gardner

	Παράμετροι εξίσωσης van Genuchten για m=1-1/n					
	Πειραματικός 1998			Πειραματικός 1999		
Βάθος (cm)	20	60	110	25	60	110
θ_r (cm^{-3} cm^{-3})	0,09467	0,08799	0	0	0,0927	0
θ_s (cm^{-3} cm^{-3})	0,39726	0,41894	0,42926	0,39877	0,40042	0,44635
a (cm^{-1})	0,00802	0,01576	0,01435	0,00789	0,01455	0,01388
n (-)	1,40363	1,37440	1,14661	1,23315	1,70465	1,13382
m=1-1/n (-)	0,28756	0,27241	0,12786	0,18907	0,41337	0,11803
b	0,668	0,707	1,783	0,567	1,270	2,122
N	1,551	1,572	1,402	1,571	1,838	1,381
K_s (cm day^{-1})	78,36	71,25	14,36	83,5	76,25	4,50

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Τα πειραματικά δεδομένα που συλλέχτηκαν, χρησιμοποιήθηκαν στην προσομοίωση της καλλιέργειας του καλαμποκιού με το μοντέλο WAVE. Έγιναν συνολικά τέσσερις προσομοιώσεις για κάθε σχέση ΥΑ, που αναφέρονται ως περιπτώσεις 1998-Α, 1998-Β, 1999-Α και 1999-Β. Τα γράμματα Α και Β χαρακτηρίζουν τις θέσεις με διαφορετική δόση άρδευσης στο ίδιο καλλιεργητικό έτος.

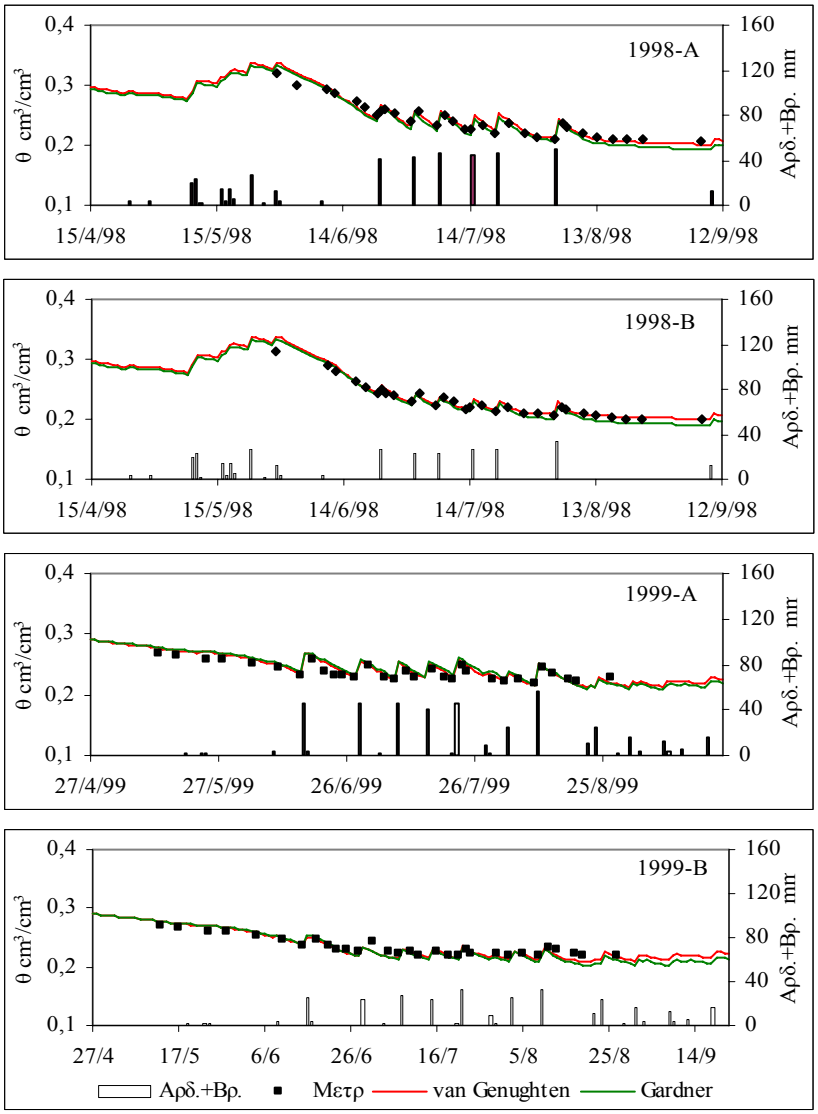
Στα διαγράμματα του Σχήματος 1 φαίνονται οι μετρημένες και οι υπολογισμένες με το μοντέλο WAVE τιμές της εδαφικής υγρασίας μέχρι το βάθος των 140 cm. Όπως δείχνουν τα διαγράμματα του Σχήματος 1, οι υπολογισμένες τιμές εδαφικής υγρασίας ακολουθούν τις διακυμάνσεις στο χρόνο της μετρημένης εδαφικής υγρασίας με ικανοποιητική ακρίβεια, η οποία είναι μεγαλύτερη στην περίπτωση της σχέσης του van Genughten. Η ίδια διαπίστωση προκύπτει κι από τα στατιστικά κριτήρια [14, 15, 16], του Πίνακα 3, των οποίων η επιθυμητή τιμή είναι η τιμή μηδέν. Οι τιμές του μέσου σφάλματος (Ε), του μέσου ανηγμένου τετραγωνικού σφάλματος (RMSE) και του συντελεστή υπολειμματικής μάζας (CRM), σ' όλες τις περιπτώσεις είναι μικρότερες για τη σχέση ΥΑ του van Genuchten σε σύγκριση με τη σχέση του Gardner.

Πίνακας 3. Τιμές στατιστικών κριτηρίων των προσομοιώσεων της εδαφικής υγρασίας

	van Genuchten			Gardner		
Περίπτωση	E (cm^3 cm^{-3})	RMSE (%)	CRM (-)	E (cm^3 cm^{-3})	RMSE (%)	CRM (-)
1998-Α	-0,0004	2,73	-0,002	0,0070	4,54	0,028
1998-Β	-0,0017	2,23	-0,007	0,0068	4,31	0,029
1999-Α	-0,0040	2,91	-0,017	0,0070	3,89	-0,028
1999-Β	0,0018	2,68	0,008	0,0030	3,38	0,014

Στον Πίνακα 4 δίνονται οι υπολογισμένες τιμές της αθροιστικής πραγματικής εξατμισοδιαπνοής (ET_a), της διαπνοής (T_a) και της εξάτμισης (E_a) όταν χρησιμοποιήθηκαν οι σχέσεις ΥΑ του van Genuchten και του Gardner στο WAVE. Οι

τιμές των παραπάνω μεταβλητών αναφέρονται στο χρονικό διάστημα κατά το οποίο πραγματοποιούνταν μετρήσεις εδαφικής υγρασίας.



Σχήμα 1. Μεταβολή στο χρόνο της μετρημένης και της υπολογισμένης υγρασίας του εδάφους για τις τέσσερις περιπτώσεις προσομοίωσης.

Οι μετρημένες τιμές της αθροιστικής ET_a που δίνονται στον Πίνακα 4, αφορούν τις εκτιμήσεις της πραγματικής αθροιστικής εξατμισοδιαπνοής, με την εξίσωση του υδατικού ισοζυγίου του εδάφους [10]. Οι υπολογισμένες τιμές της αθροιστικής πραγματικής εξατμισοδιαπνοής για τις δύο σχέσεις ΥΑ δεν παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές όταν συγκρίνονται με τις αντίστοιχες μετρημένες τιμές (Πίνακας 4). Οι αποκλίσεις ανάμεσα στις υπολογισμένες τιμές της ET_a με τη σχέση του van Genuchten και στις μετρημένες τιμές είναι 1,7%, -3,8%, -0,6% και 2,5% για τις τέσσερις περιπτώσεις προσομοίωση, ενώ για τη σχέση του Gardner οι αντίστοιχες αποκλίσεις

είναι -2,5%, -8,7%, -1,9% και -0,5%.

Πίνακας 4. Μετρημένες και υπολογισμένες τιμές αθροιστικής πραγματικής εξατμισοδιαπνοής (ET_a), διαπνοής (T_a) και εξάτμισης (E_a)

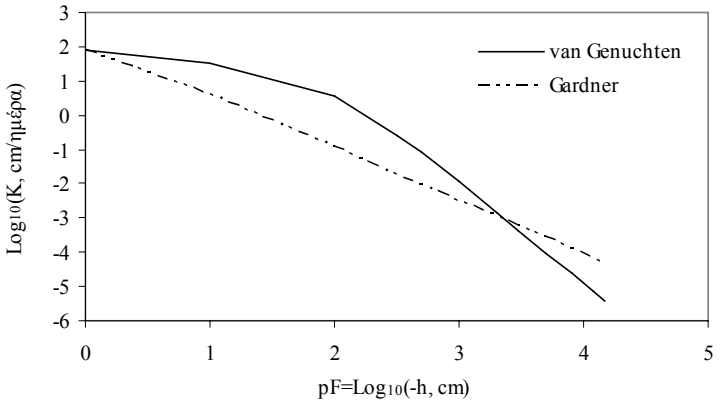
Περίπτωση (χρονικό διάστημα)	Σχέση ΥΑ	Υπολογισμένες τιμές ET_a (mm)	T_a (mm)	E_a (mm)	E_a/ET_a	Μετρημένες ET_a (mm)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
1998-A	van Genuchten	442,9	419,6	23,3	0,05	450,6
(29-5/24-8)	Gardner	462,0	430,1	31,9	0,07	
1998-B	van Genuchten	335,1	312,7	22,4	0,07	322,8
(29-5/24-8)	Gardner	350,9	319,9	31,0	0,09	
1999-A	van Genuchten	424,9	365,8	54,1	0,13	422,2
(10-6/7-9)	Gardner	430,2	366,6	63,6	0,15	
1999-B	van Genuchten	314,3	254,0	60,3	0,19	322,4
(10-6/7-9)	Gardner	324,1	259,0	65,1	0,20	

Στον Πίνακα 5 δίνονται οι υπολογισμένες και οι μετρημένες τιμές της ξηρής φυτικής μάζας και της παραγωγής σε σπόρο της καλλιέργειας του καλαμποκιού κατά τα δύο έτη πειραματισμού (1998 και 1999). Όπως προκύπτει από τον Πίνακα 5 οι προσομοιώσεις με το μοντέλο WAVE και με τις δύο σχέσεις ΥΑ υποεκτιμούν τις τιμές της ξηρής φυτικής μάζας (ΞΦΜ) και της παραγωγής σε σπόρο. Η υποεκτίμηση της ΞΦΜ είναι μεγαλύτερη για τη σχέση ΥΑ του van Genuchten, 14,2%, 17,9%, 8,8% και 7,1% για τις τέσσερις περιπτώσεις, ενώ για τη σχέση του Gardner τα αντίστοιχα ποσοστά είναι 12,3%, 15,3%, 7,3% και 5,7%. Αυτό οφείλεται στις μεγαλύτερες τιμές πραγματικές διαπνοής που εξασφαλίζει η σχέση ΥΑ του Gardner (Πίνακας 4).

Πινακας 5. Μετρημένες και υπολογισμένες τιμές ξηρής φυτικής μάζας και παραγωγής.

	Ξηρή φυτική μάζα (kg/στρμ.)			Παραγωγή (kg/στρμ.)		
	van Genuchten	Gardner	Πειραματ.	van Genuchten	Gardner	Πειραματ.
1998-A	2022	2067	2358	710	727	915
1998-B	1490	1537	1815	400	403	698
1999-A	2350	2391	2578	928	975	1136
1999-B	1691	1718	1821	620	618	807

Από την ανάλυση που προηγήθηκε προέκυψε ότι υπάρχουν μικρές διαφορές μεταξύ των προσομοιώσεων με τις δύο σχέσεις ΥΑ, όπως η υποεκτίμηση της υγρασίας του εδάφους από τη σχέση του Gardner, την περίοδο μετά το τέλος των αρδεύσεων (Σχήμα 1.), η εκτίμηση μεγαλύτερων τιμών πραγματικής εξατμισοδιαπνοής από τη σχέση του Gardner (Πίνακας 4), που έχει σαν αποτέλεσμα τη μεγαλύτερη εκτιμώμενη παραγωγή (Πίνακας 5) και η μεγαλύτερη συμμετοχή της πραγματικής εξάτμισης στην πραγματική εξατμισοδιαπνοή στην περίπτωση της σχέσης του Gardner. Μία πιθανή εξήγηση για τα παραπάνω είναι η διαφορετική μεταβολή της υδραυλικής αγωγιμότητας με την υγρασιακή κατάσταση του εδάφους που δίνουν οι σχέσεις. Οι καμπύλες των δύο σχέσεων σε λογαριθμική κλίμακα (log-log) για το έδαφος του πειραματικού του 1998 (βάθος 0-30 cm) φαίνονται στο διάγραμμα του Σχήματος 2.



Σχήμα 2. Γραφική παράσταση των σχέσεων υδραυλικής αγωγιμότητας, K(h), του van Genuchten και του Gardner.

Η σχέση του Gardner δίνει μικρότερες τιμές υδραυλικής αγωγιμότητας από τη σχέση του van Genuchten για τιμές του ύψους πίεσης, h, από 0 μέχρι -2000 cm (pF=3,3). Σε μικρότερες τιμές του ύψους πίεσης (h<-2000 cm) η κατάσταση αντιστρέφεται και οι τιμές της σχέσης του Gardner γίνονται μεγαλύτερες από τις αντίστοιχες της σχέσης του van Genuchten. Με το τέλος των αρδεύσεων όταν το έδαφος στην επιφάνεια αρχίζει να ξηραίνεται, οι προσομοιώσεις με τη σχέση ΥΑ του Gardner, λόγω μεγαλύτερης τιμής της ΥΑ, επιτρέπουν μεγαλύτερη εξάτμιση, όπως επίσης και μεγαλύτερη διαπνοή λόγω κίνησης του νερού προς το ριζόστρωμα της καλλιέργειας.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τη σύγκριση των αποτελεσμάτων των προσομοιώσεων με δύο διαφορετικές συναρτήσεις υδραυλικής αγωγιμότητας προέκυψε ότι, και οι δύο σχέσεις περιγράφουν με ικανοποιητική ακρίβεια τη χρονική μεταβολή της υγρασίας του εδάφους. Η μεγαλύτερη ακρίβεια της σχέσης του van Genuchten στην προσομοίωση της εδαφικής υγρασίας που παρατηρήθηκε, είναι οριακή και δεν αποτελεί συγκριτικό πλεονέκτημά έναντι της σχέσης του Gardner. Όσον αφορά την εκτίμηση της αθροιστικής πραγματικής εξατμισοδιαπνοής, που είναι ένα σημαντικό ζητούμενο στην προσομοίωση του υδατικού ισοζυγίου του εδάφους και την παραγωγή της καλλιέργειας, επίσης δεν προκύπτει σημαντική διαφορά μεταξύ των δύο σχέσεων υδραυλικής αγωγιμότητας.

Παρά την μικρή υπεροχή της σχέσης του van Genuchten σε όλες τις περιπτώσεις προσομοίωσης της καλλιέργειας του καλαμποκιού, δεν μπορεί να παραβλεφθεί η αξία της σχέσης του Gardner. Κι αυτό γιατί οι παράμετροι της σχέσης αυτής προσδιορίζονται από τη μηχανική σύσταση του εδάφους, μια παράμετρο που εύκολα προσδιορίζεται και είναι διαθέσιμη για τα εδάφη πολλών περιοχών της χώρας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. van Genuchten, M.T., 1980. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Science Society of America Journal*, 44: 892–898.
2. Brutsaert, W., 1966. Propability laws for pore-size distributions. *Soil Science*, 101: 85-92.

3. Brooks, R. H. and A. T. Corey, 1966. Properties of porous media affecting fluid flow. *Journal of the Irrigation and Drainage Division, ASCE*, 92: 61-88.
4. Gardner, W.R., 1958. Some steady-state solutions of the unsaturated moisture flow equation with application to evaporation from a water table. *Soil Science*, 85: 228-232.
5. Vereecken, H., Maes, J. and Feyen, J., 1990. Estimating unsaturated hydraulic conductivity from easily measured soil properties. *Soil Science*, 149: 1-12.
6. Vanclooster, M., Viaene, P., Christiaens, K. and Dusheyne, S., 1996. *WAVE: A mathematical model for simulating water and agrochemicals in the soil and Vadose enviroment-reference and user's manual (release 2.1)*, Institute for Land and Water Management, Katholieke Universiteit Leuven, Belgium.
7. Alexiou, I. G., Papamichail, D.M. and Antonopoulos, V. Z., 2002. Simulation of soil water balance and irrigation efficiency of maize crop. *Proc. 5th Int. Conf. of EWRA Water resources management in the era of transition, (ed. G. Tsakiris)*, Athens, Greece, 4-8 September, 2002.
8. Αλεξίου, Ι. Γ., 2005. *Ανάλυση και προσομοίωση του συστήματος νερού εδάφους ατμόσφαιρας σε σχέση με την ανάπτυξη και την απόδοση ετήσιων καλλιεργειών,* Διδακτορική Διατριβή, Α.Π.Θ.
9. van Genuchten, M. Th., Leij, F. J. and Yates, S.,R.,M., 1991. *The RETC code for quantifying the hydraulic functions of unsaturated soils.* USDA, Agric. Research Service, Riverside, California.
10. 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.
11. Kotsopoulos, S**.,** Kalfountzos, D., Alexiou, I., Zerva, G., Karamaligas, C. and Vyrlas, P., 2002. Actual evapotranspiration and soil moisture studies in irrigated cotton fields. *Proc. 5th Int. Conf. of EWRA Water resources management in the era of transition, (ed. G. Tsakiris)*, Athens, Greece, 4-8 September 2002.
12. Παπαμιχαήλ, Δ. Μ. και Γεωργίου, Π. Ε., 1999. Συγκριτική ανάλυση των ωριαίων και ημερήσιων εκτιμήσεων της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς με τη μέθοδο FAO Penman–Monteith. *Πρακ. 4ου Εθνικού Συν. ΕΕΔΥΠ, Διαχείριση υδατικών πόρων στις ευαίσθητες περιοχές του Ελλαδικού χώρου*, Βόλος, 1999.
13. Παπαζαφειρίου, Ζ., 1999. *Οι ανάγκες σε νερό των καλλιεργειών*, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη, σελ 347.
14. Clemente, R.C., De Jong, R., Hayhoe, H. N., Reynolds, W. D. and Hares, M., 1994. Testing and comparison of three unsaturated soil water models. *Agricultural Water Management,* 25: 135-152.
15. Antonopoulos, V., 1997. Simulation of soil moisture dynamics on irrigated cotton in semi-arid climates. *Agricultural Water Management,* 34: 233-246.
16. Babajimopoulos, C., Budina, A. and Kalfountzos, D., 1995. A model for the estimation of the water balance of a cropped soil. *Environmental Software,* 10: 211-220.

(235)

PLEIADES –ΒΟΗΘΗΤΙΚΑ ΕΡΓΑΛΕΙΑ ΓΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΝΕΡΟΥ ΣΤΗ ΓΕΩΡΓΙΑ ΚΑΙ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ ΑΓΡΟΤΙΚΗΣ ΑΠΟΦΑΣΗΣ

Α. Μπλάντα[1α], Χ. Δομενικιώτης[1β] και Ν. Δαλέζιος[1γ]
[1] Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Σχολή Γεωπονικών Επιστ., Τμ. Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Οδός Φυτόκου, 38446, Ν. Ιωνία Μαγνησίας,
αamplanta@uth.gr, **β**cdomen@uth.gr, **γ**dalezios@apae.uth.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το νερό που χρησιμοποιείται για την παραγωγή τροφής αντιπροσωπεύει το μεγαλύτερο ποσοστό, σε σχέση με άλλες χρήσεις, ενώ οι απαιτήσεις αυξάνονται συνεχώς με την αύξηση του πληθυσμού. Το PLEIADeS (**P**articipatory multi-**L**evel **E**O-assisted tools for **I**rrigation water management and **A**gricultural **De**cision –**S**upport) στοχεύει στην αποτελεσματική και αειφόρο χρήση του νερού για την παραγωγή τροφής σε περιβάλλοντα με έλλειμμα νερού με τη χρήση δορυφορικών δεδομένων και GIS.

PLEIADES-EO-ASSISTED TOOLS FOR WATER MANAGEMENT IN AGRICULTURE AND AGRICULTURAL DECISION SUPPORT

A. Mplanta[1a], C. Domenikiotis[1b] and N. Dalezios[1c]
[1] University of Thessaly, Sch. of Agricultural Sc., Dept. of Agriculture Ichthyology and Aquatic Environment, Fytokou Str, 38446, N. Ionia Magnesias,
[a]amplanta@uth.gr, bcdomen@uth.gr, [c]dalezios@apae.uth.gr

ABSTRACT

Water for food production represents by far the largest share among all uses and its demand keeps growing with increasing population. PLEIADeS (Participatory multi-Level EO-assisted tools for Irrigation water management and Agricultural Decision – Support) addresses the efficient and sustainable use of water for food production in water – scarce environments with the use of satellite data and GIS.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το έδαφος και το νερό είναι οι δύο κρίσιμοι πόροι για τη γεωργική παραγωγή και έτσι υπάρχει μια επείγουσα και τρέχουσα ανάγκη να επινοηθούν τρόποι διαχείρισης του εδάφους και των υδάτινων πόρων κατά τρόπο πιο βιώσιμο [1]. Παγκοσμίως, το νερό που διανέμεται για την άρδευση ανέρχεται σε 80% περίπου των συνολικών παροχών νερού [2]. Οι συνέπειες της άρδευσης στο υδατικό ισοζύγιο, στη βλάστηση και στον υδροφόρο ορίζοντα είναι σημαντικές για το περιβάλλον.

Το νερό που χρησιμοποιείται για την άρδευση των καλλιεργειών αποτελεί ένα ουσιαστικό μέσο για την ενίσχυση των αποδόσεων της γεωργικής παραγωγής. Κατά τη διάρκεια του περασμένου αιώνα οι αυξημένες ανάγκες για παραγωγή τροφίμων είχε σαν αποτέλεσμα την επέκταση των καλλιεργούμενων εκτάσεων και κατ' επέκταση των αρδευόμενων περιοχών. Εκτιμάται ότι αν και μόνο το 20% της παγκόσμιας αγροτικής γης αρδεύεται προς το παρόν, αυτό αντιστοιχεί στο 40% της παγκόσμιας αγροτικής παραγωγής. Η άρδευση παρέχει τη βάση για ένα βελτιωμένο σύστημα καλλιεργειών και την αύξηση της παραγωγής των καλλιεργούμενων φυτών με υψηλή θρεπτική αξία και γι' αυτό προωθούνται οι βελτιώσεις των συστημάτων άρδευσης των καλλιεργειών [3].

Το PLEIADeS στοχεύει στην αποδοτική και αειφόρο χρήση του νερού για την παραγωγή τροφής σε περιβάλλοντα με έλλειμμα νερού. Στοχεύει στη βελτίωση και βελτιστοποίηση των συστημάτων άρδευσης μέσω νέων τεχνολογιών (Τηλεπισκόπιση, GIS, Συστήματα Λήψης Αποφάσεων και Τεχνολογίες Πληροφοριών και Επικοινωνιών). Το έργο καλύπτει κλίμακες από μεμονωμένα αγροκτήματα ως ολόκληρες λεκάνες απορροής.

Στην παρούσα εργασία περιγράφεται η διαδικασία που θα χρησιμοποιηθεί για την εξαγωγή αποτελεσμάτων από δεδομένα πεδίου που θα αποτελέσουν τη βάση για τη σύνδεση τους με δορυφορικά δεδομένα χρησιμοποιώντας τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών που θα αναπτυχθούν στο πλαίσιο του έργου. Η διαδικασία που ακολουθήθηκε βασίζεται στη μεθοδολογία του Προγράμματος DEMETER για τη βλαστική περίοδο 2005 [4], [5], [6], [7], [8].

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Στην Ελλάδα το 82% της χρήσης του νερού χρησιμοποιείται για γεωργικούς σκοπούς και περίπου το 35% των καλλιεργούμενων περιοχών αρδεύεται (εικόνα 1). Όμως η διαφορά ανάμεσα στο αρδευόμενο νερό και σε εκείνο που δεσμεύεται τελικά από τις καλλιέργειες για παραγωγή βιομάζας (water use efficiency) είναι συνήθως μεγάλη. Χρήζει διερεύνησης το μέγεθος των απωλειών που προκύπτουν κατά την περίοδο άρδευσης της καλλιέργειας. Οι νέες τεχνολογίες των δορυφορικών δεδομένων και των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (ΓΣΠ) παρέχουν τα εργαλεία για μια πιο ουσιαστική διαχείριση της άρδευσης [9].

Το PLEIADeS σκοπεύει στη συνεισφορά της ορθολογικής διαχείρισης του νερού μέσω της συμμετοχής όλων των χρηστών σε μια διαδικασία εκμάθησης, αυξάνοντας τη διαφάνεια της χρήσης του νερού και οδηγώντας σε ένα αειφόρο μέλλον. Στοχεύει επίσης στην παροχή συστημάτων και υπηρεσιών που θα επιτρέψουν τις βέλτιστες αποφάσεις που θα πρέπει να ληφθούν σε τεχνικό, οικονομικό, περιβαλλοντικό και κοινωνικό επίπεδο.

Ένα σύνολο από πιλοτικές περιοχές μελέτης αντιπροσωπεύουν το ευρύ φάσμα συνθηκών που επικρατούν στη Μεσόγειο. Αυτές οι περιπτώσεις περιλαμβάνουν πολλές περιοχές όπου η μείωση του υπόγειου νερού, λόγω της υπέρ - άντλησης από τους υδροφορείς, ανησυχεί όχι μόνο τους αγρότες αλλά και την κοινωνία εν γένει. Σε άλλες περιοχές το επιφανειακό νερό εκτρέπεται σε αρδευτικά συστήματα, οδηγώντας σε άδηλη

διαμάχη με τους υπόλοιπους χρήστες νερού. Σε όλες τις περιοχές η αύξηση της έλλειψης των υδάτινων πόρων και η επιδείνωση της περιβαλλοντικής κατάστασης απαιτεί τη βέλτιστη χρήση νερού.

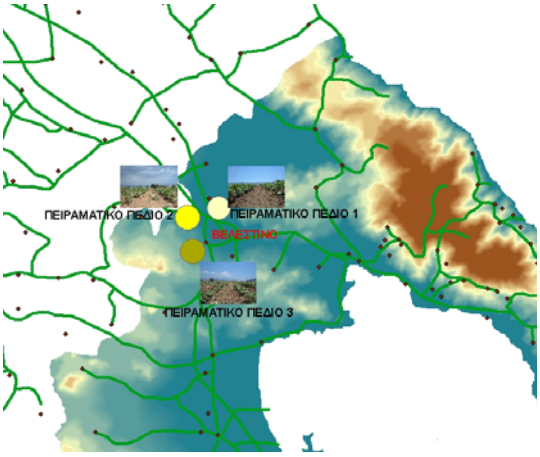
Εικόνα 1. Αγροτική ζήτηση νερού στην Ελλάδα [10].

Ένα πείραμα πραγματοποιήθηκε από το Εργαστήριο Αγρομετεωρολογίας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας [11,12]. Για τον πειραματικό σχεδιασμό επιλέχθηκε η περιοχή του Δήμου Φερών Μαγνησίας και πιο συγκεκριμένα τα δημοτικά διαμερίσματα Βελεστίνου, Χλόης και Αγίου Γεωργίου λόγω της εντατικής καλλιέργειας του βαμβακιού στην περιοχή. Για τη συλλογή των δεδομένων χρησιμοποιήθηκαν τρία αγροτεμάχια, σε κάθε πειραματικό πεδίο δημιουργήθηκαν δυο πειραματικοί σταθμοί για τα δυο πρώτα χωράφια (Άγιος Γεώργιος, Χλόη) και τρεις πειραματικοί σταθμοί στο τρίτο χωράφι (λόγω επανασποράς) (εικόνα 2). Οι παράγοντες που εξετάζονται για την επιλογή των πειραματικών πεδίων περιλαμβάνουν:

α) Συνεργασία με τους αγρότες
β) Ποικιλία καλλιέργειας
γ) Πειραματικά σημεία στο χωράφι
δ) Δειγματοληπτική περίοδο (μια ή δυο φορές την εβδομάδα)
ε) Ώρα της ημέρας
στ) Καθορισμός θέσεων χωραφιών με τη χρήση του GPS eTrex
ζ) Μετρήσεις στο πεδίο

- ψηφιακή φωτογραφική μηχανή (2 m από το έδαφος)
- ύψος συγκομιδής
- υγρασία εδάφους

η) Πληροφορίες από τους αγρότες (σπορά, ημερομηνίες άρδευσης, κόστος άρδευσης, παραγωγή)
η) Διαθεσιμότητα μετεωρολογικών δεδομένων της περιοχής



Εικόνα 2. Θέση των τριών πειραματικών πεδίων στην περιοχή μελέτης.

Για τον υπολογισμό του υδατικού ισοζυγίου ήταν απαραίτητος ο υπολογισμός της εξατμισοδιαπνοής των καλλιεργειών (crop evapotraspiration) ET_c. Η εξίσωση για τον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής καλλιεργειών δίνεται από τη σχέση:

$$ET_c=K_c*ET_o \quad (1)$$

όπου:
ET_c: εξατμισοδιαπνοή καλλιεργειών
K_c: φυτικός συντελεστής
ET_o: εξατμισοδιαπνοή αναφοράς

Για την επίλυση της εξίσωσης της εξατμισοδιαπνοής καλλιεργειών ήταν απαραίτητοι και οι υπολογισμοί του φυτικού συντελεστή και της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς με τη χρήση των μετεωρολογικών δεδομένων της περιοχής, σε συνδυασμό με τις πειραματικές μετρήσεις. Ο συντελεστής καλλιεργειών, K_c, είναι βασικά η αναλογία της εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας ET_c προς την εξατμισοδιαπνοή αναφοράς ET_o.

Η εξίσωση για τον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς δίνεται από τη σχέση [13]:

$$ET_o = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{37}{T_{hr}+273} u_2 (e^o(T_{hr}) - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} \quad (2)$$

2.1 Υπολογισμός υδατικού ισοζυγίου

Η εξίσωση για τον υπολογισμό του υδατικού ισοζυγίου δίνεται από:

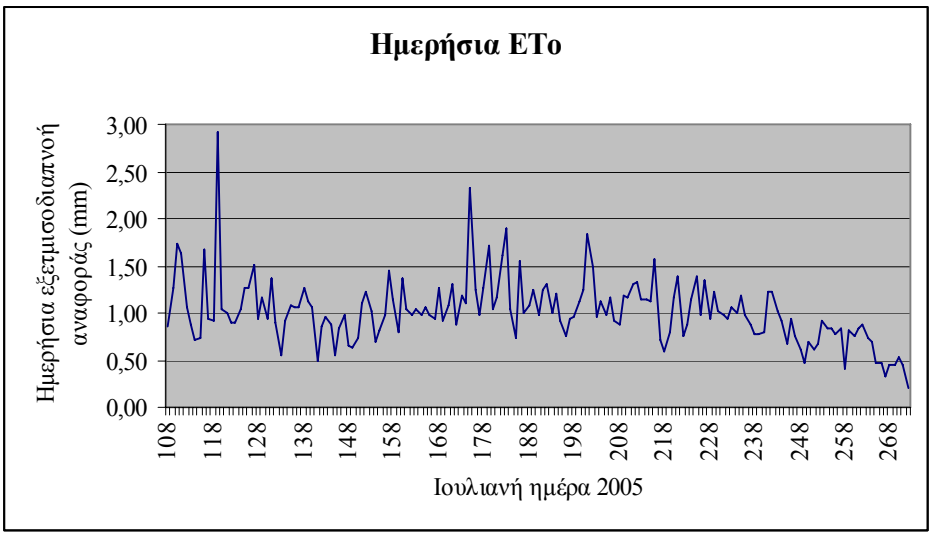
$$\text{Υδατικό ισοζύγιο} = R\text{-}Etc \quad (3)$$

όπου:
R: διαθέσιμο νερό στη μονάδα του χρόνου (mm)
ET_c: εξατμισοδιαπνοή καλλιεργειών (mm)

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Λαμβάνοντας υπόψη τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την ανάλυση των μετρήσεων, παρατηρείται ότι τα χαρακτηριστικά του κάθε πειραματικού πεδίου (έδαφος, ποικιλία καλλιέργειας, άρδευση) είναι καθοριστικά για τη διαμόρφωση των αποτελεσμάτων.

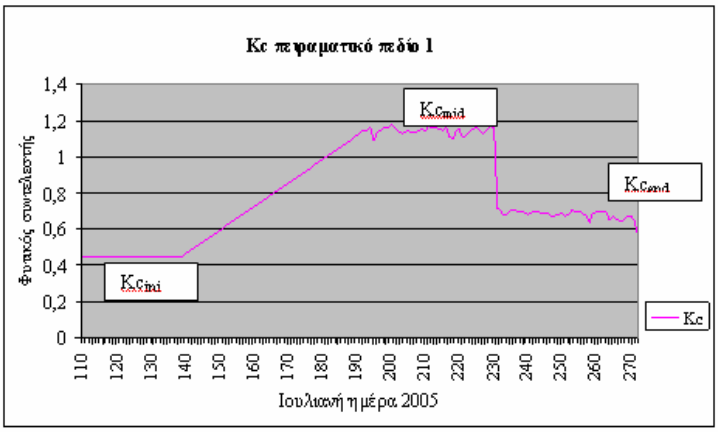
Τα αποτελέσματα για την εξατμισοδιαπνοή αναφοράς ETo, προέκυψαν από τα μετεωρολογικά δεδομένα της περιοχής μελέτης και παρουσιάζονται στο σχήμα 1.



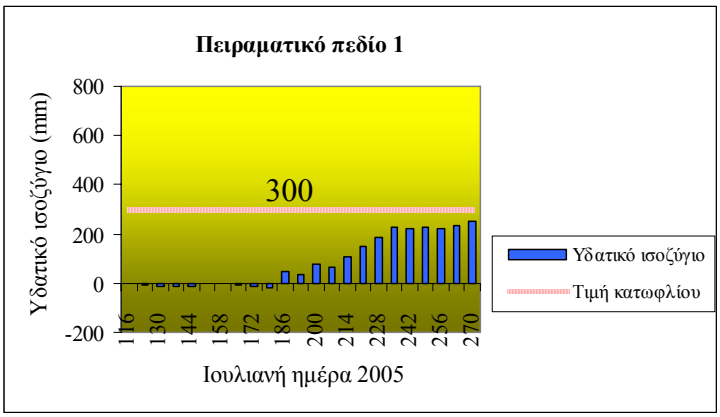
Σχήμα.1. Διάγραμμα ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής ET_o της περιοχής μελέτης για το έτος 2005.

Όσον αφορά στον υπολογισμό του φυτικού συντελεστή αρχικά υπολογίστηκαν τα διάφορα στάδια της βλαστικής περιόδου για κάθε πειραματικό πεδίο. Ο φυτικός συντελεστής για το αρχικό στάδιο (Kc_{ini}) υπολογίστηκε από διάγραμμα, για το στάδιο μέσης περιόδου (Kc_{mid}) και το στάδιο της τελευταίας περιόδου (Kc_{end}) υπολογίστηκαν με μια σειρά εξισώσεων από τα μετεωρολογικά δεδομένα της περιοχής [13]. Ο φυτικός συντελεστής για το στάδιο ανάπτυξης υπολογίστηκε με γραμμική παρεμβολή από το φυτικό συντελεστή του αρχικού σταδίου και το φυτικό συντελεστή στην αρχή του σταδίου μέσης περιόδου (σχήμα 2).

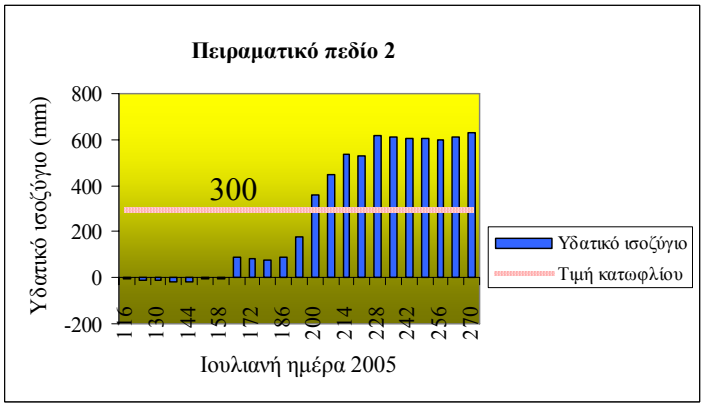
Τα σχήματα 3, 4 και 5 προέκυψαν από τη διαφορά του εβδομαδιαίου αθροίσματος των βροχοπτώσεων και των αρδεύσεων με το εβδομαδιαίο άθροισμα της εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας εφαρμόζοντας την εξίσωση 3.



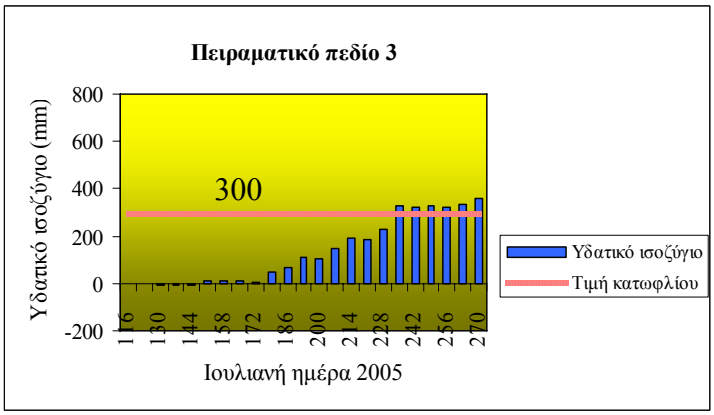
Σχήμα.2. Διάγραμμα ημερήσιου φυτικού συντελεστή K_c στο πρώτο πειραματικό πεδίο.



Σχήμα 3. Διάγραμμα αθροιστικού υδατικού ισοζυγίου σχετιζόμενο με την τιμή κατωφλίου για το πρώτο πειραματικό πεδίο.



Σχήμα 4. Διάγραμμα αθροιστικού υδατικού ισοζυγίου σχετιζόμενο με την τιμή κατωφλίου για το δεύτερο πειραματικό πεδίο.



Σχήμα 5. Διάγραμμα αθροιστικού υδατικού ισοζυγίου σχετιζόμενο με την τιμή κατωφλίου για το τρίτο πειραματικό πεδίο.

Όσον αφορά στα αποτελέσματα από τον υπολογισμό του υδατικού ισοζυγίου που προέκυψαν από τα δεδομένα πεδίου σε συνδυασμό με τα μετεωρολογικά στοιχεία, παρατηρείται πλεόνασμα νερού κατά τη διάρκεια των αρδεύσεων. Μόνο στο πρώτο πειραματικό πεδίο το νερό που χρησιμοποιήθηκε στις αρδεύσεις πλησιάζει την αποδεκτή ποσότητα νερού (300 mm) [14]. Αντίθετα στο δεύτερο πειραματικό πεδίο η ποσότητα του νερού που χρησιμοποιείται για τις αρδεύσεις είναι διπλάσια της απαιτούμενης ποσότητας του νερού, ενώ στο τρίτο πειραματικό πεδίο η ποσότητα του νερού υπερβαίνει της απαιτούμενης ποσότητας.

Ό ακριβέστερος προσδιορισμός της απαραίτητης ποσότητας νερού για την άρδευση των καλλιεργειών αποτελεί ένα από τα αντικείμενα μελέτης του PLEIADeS, το οποίο μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση δορυφορικών εικόνων και GIS.

Κατά τη διάρκεια του πειράματος και από τη συνεργασία με τους αγρότες προέκυψε ότι δεν υπάρχει ένας φορέας να ενημερώνει τους αγρότες σε θέματα διαχείρισης νερού που χρησιμοποιείται για τις αρδεύσεις. Οι αγρότες ακολουθούν συγκεκριμένες μεθόδους διαχείρισης του νερού τόσο ως προς τον αριθμό των αρδεύσεων όσο και ως προς την ποσότητα του νερού που θα χρησιμοποιήσουν. Τα εργαλεία και οι υπηρεσίες που θα αναπτυχθούν στο PLEIADeS θα επιτρέψουν στους αγρότες να συντονίσουν τη διαχείριση της άρδευσης στο αγρόκτημα τους με την ισχύουσα κατάσταση του νερού σε επίπεδο λεκάνης απορροής. Αυτή η ευρεία προοπτική παρέχει ένα ισχυρό πλαίσιο για την επίλυση διαφορών σε περιοχές όπου παρατηρείται έλλειμμα νερού. Οι νέες τεχνολογίες παρέχουν εύκολη πρόσβαση στην πληροφορία για όλους τους χρήστες, ενώ η ενεργή συμμετοχή θα είναι αποτελεσματική με τη χωρική πληροφορία και τα καινοτόμα δίκτυα εργαλείων.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Μέρος της παρούσας εργασίας έχει χρηματοδοτηθεί από τα Προγράμματα DEMETER και PLEIADeS. Οι συγγραφείς της εργασίας θα ήθελαν να ευχαριστήσουν τους Γεώργιο Γεροβασίλη, Δημήτρη Καζά και Νικόλαο Υφαντή για την παραχώρηση των χωραφιών για τις πειραματικές μετρήσεις και τις πληροφορίες που παρείχαν κατά τη διάρκεια του πειράματος, καθώς και τη Ζωή Μπομπότη, γεωπόνο στο Δήμο Φερών.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. National Research Council, 1991. http://www.cnr.it/sitocnr/Englishversion/Englishversion.html
2. Seckler, D., Amarasinghe, U., Molden, D., De Silva, R., and Barker, R., 1998. *World water demand and supply 1990 to 2025: Scenarios and issues.* Research Report 19. International Irrigation Management Institute, Colombo, Sri Lanka.
3. Gore, A., 1993: *Earth in the Balance: Ecology and the Human Spirit.* Plume, New York, 407 pp.
4. Calera, A., Medrano, J., Vela, A., and Castaño, S., 1999. *GIS tools applied to the sustainable management of water resources. Application to aquifer system 08-29*, *Agricultural Water Managemen,* 40: 207-220.
5. Calera, A; Martinez, C. and Meliá, J., 2001. A procedure for obtaining green plant cover. Its relation with NDVI in a case study for barley. *International Journal of Remote Sensing*.
6. Calera, A., Jochum. A.M. and Cuesta, A., 2003. Space-assisted irrigation management: Towards user-friendly products. *ICID Workshop on Remote Sensing of Crop Evapotranspiration*, Montpellier, 17 Sep 2003, 12 pp.
7. Calera, A., Jochum, A.M., Cuesta, A., Montoro, A., and López Fuster, P., 2005. *Irrigation management from space: Towards user-friendly products*. *Irrig. Drain. Systems,* 19: 337-353.
8. Jochum, A.M., Calera, A., and co-authors, 2006. Operational Space-assisted Irrigation Advisory Services: Overview and lessons learned from the DEMETER project. *In Proceedings International Conference on Earth Observation for vegetation monitoring and water management.* Napoli, 9-11 November 2005. American Institute of Physics: 3-13.
9. Bastiaanssen, W.G.M., 1998: *Remote Sensing in water resources management: The state of the art.* International Water Management Institute, Colombo, 118pp.
10. Μιμίκου, Μ., 2005. *Σημειώσεις Μαθήματος: ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ.* http://www.itia.ntua.gr/nikos/diaxeirish/I.pdf
11. Domenikiotis, C., Blanta, A., Dalezios, N., 2006. Transferability of the DEMETER Methodology. *Proceedings of International Conference on: Information Systems in Sustainable Agriculture, Agroenvironment and Food Technology*, 20-23 September 2006, Volos, Greece, 963-972 pp.
12. Μπλάντα, Α., 2007. *Παρακολούθηση Υδατικού Ισοζυγίου με Μεθόδους Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (Γ.Σ.Π.)*, Μεταπτυχιακή Διατριβή, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Εργαστήριο Αγρομετεωρολογίας, 175 σελ.
13. FAO, 1998. *Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements - FAO* Irrigation and Drainage Paper No. 56. http://www.fao.org/docrep/X0490E/X0490E00.htm
14. Δημητριάδου, Μ., 2005, Εργαστήριο Γεωργίας και Εφαρμοσμένης Φυσιολογίας Φυτών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.

(237)

ΑΔΡΟΜΕΡΗΣ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΤΗΣ ΞΗΡΑΣΙΑΣ ΣΤΗ ΓΕΩΡΓΙΑ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΔΕΙΚΤΗ ΞΗΡΑΣΙΑΣ RDI

Γ. Τσακίρης, Δ. Τίγκας

Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Κέντρο Εκτίμησης Φυσικών Κινδύνων & Προληπτικού Σχεδιασμού, Ηρώων Πολυτεχνείου 9, 15780, Αθήνα, e-mail: water@survey.ntua.gr

Περίληψη

Στην εργασία αυτή περιγράφεται ο νέος δείκτης ξηρασίας RDI (*Reconnaissance Drought Index*) και η χρήση του για τη γενική εκτίμηση της ξηρασίας μιας περιοχής και κάθε έτους ή περιόδου. Ο δείκτης στηρίζεται τόσο στην αθροιστική βροχόπτωση όσο και στην αθροιστική δυνητική εξατμισοδιαπνοή για κάθε περίοδο που εξετάζεται. Με τη χρήση του δείκτη ξηρασίας RDI γίνεται στην παρούσα εργασία η εκτίμηση της έντασης της ξηρασίας σε διάφορες περιοχές της χώρας για το έτος 2006 – 2007. Προτείνεται επίσης μεθοδολογία για την αδρομερή εκτίμηση των απωλειών παραγωγής της μη αρδευόμενης γεωργίας με τη χρήση του συντελεστή RDI και απλοποιημένων συναρτήσεων γεωργικής παραγωγής.

Αναλυτικότερα, ο προτεινόμενος δείκτης ξηρασίας RDI περιγράφεται με τρεις τρόπους. Η αρχική τιμή του δείκτη για κάποια συγκεκριμένη χρονική περίοδο, υπολογίζεται ως το πηλίκο του συνολικής βροχόπτωσης για την περίοδο αυτή, προς τη συνολική δυνητική εξατμισοδιαπνοή για την ίδια περίοδο. Στη συνέχεια μπορούν να υπολογιστούν δύο ακόμα μορφές του δείκτη, η κανονικοποιημένη (*Normalised – RDI_n*) και η τυποποιημένη (*Standardised – RDI_{st}*). Η τελευταία μορφή είναι ανάλογη του ευρέως χρησιμοποιούμενου δείκτη SPI.

Με τη χρήση του δείκτη RDI έγινε προσπάθεια παρακολούθησης της εξέλιξης της ξηρασίας σε περιοχές του ελλαδικού χώρου (σταθμοί Λάρισας, Ελληνικού, Νάξου και Ηρακλείου) για την περίοδο 2006 – 2007. Το δείγμα βροχοπτώσεων και δυνητικής εξατμισοδιαπνοής χρησιμοποιήθηκε σε μηνιαία βάση με αφετηρία την έναρξη του υδρολογικού έτους (Οκτώβριος 2006).

Χρησιμοποιώντας την πρώτη έκφραση του δείκτη RDI και το εμπειρικό μοντέλο Zhang et al. (2004) προκύπτει η εκτίμηση για το λόγο της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής προς την δυνητική εξατμισοδιαπνοή. Με βάση το λόγο αυτό που χρησιμοποιείται ως ανεξάρτητη μεταβλητή στις απλές συναρτήσεις παραγωγής, μπορεί να προκύψει μια αδρομερής εκτίμηση για τις απώλειες παραγωγής για κάθε καλλιέργεια της οποίας είναι γνωστή η συνάρτηση παραγωγής.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ξηρασία είναι ένα φαινόμενο για το οποίο έχουν δοθεί αρκετοί ορισμοί, που σχετίζονται αφενός με συγκεκριμένες εφαρμογές ή έρευνες, αφετέρου με την αντίληψη του κάθε ερευνητή για το φαινόμενο αυτό. Σύμφωνα με τον Rossi (2000) ως ξηρασία μπορεί να θεωρηθεί ένα επαναλαμβανόμενο φαινόμενο που σχετίζεται με το έλλειμμα στη διαθεσιμότητα των υδατικών πόρων σε μία ευρεία γεωγραφική περιοχή και για μία σημαντική χρονική περίοδο.

Η ξηρασία μπορεί να χαρακτηριστεί με τρεις παραμέτρους: την ένταση, τη διάρκεια και την έκτασή της (Rossi et al., 1992), από τις οποίες η ένταση θεωρείται ως η σημαντικότερη (Tsakiris et al., 2007a). Με τον όρο ένταση της ξηρασίας νοείται η σημαντική μείωση στη διαθεσιμότητα του νερού συγκρινόμενη με κάποια τιμή που αντιπροσωπεύει τις 'κανονικές συνθήκες'.

Ένας από τους περισσότερο ευπαθείς τομείς στην ξηρασία είναι η γεωργία. Η επίδραση των επιπτώσεων στη γεωργία μπορεί να προσδιοριστεί βάσει της έντασης και της διάρκειας της ξηρασίας καθώς και της τρωτότητας του συγκεκριμένου αγροτικού συστήματος (Tsakiris and Tigkas, 2007). Στην εργασία αυτή επιχειρείται η αδρομερής ποσοτικοποίηση της επίδρασης της έντασης της ξηρασίας στη γεωργική παραγωγή μέσω του δείκτη ξηρασίας RDI και απλών συναρτήσεων παραγωγής.

2. ΔΕΙΚΤΗΣ ΞΗΡΑΣΙΑΣ RDI

Ο δείκτης ξηρασίας RDI (Reconnaissance Drought Index) βασίζεται στο λόγο της συνολικής βροχόπτωσης προς τη συνολική δυνητική εξατμισοδιαπνοή και δημοσιεύτηκε αρχικά το 2005 (Tsakiris and Vangelis, 2005, Tsakiris et al., 2007a). Η αρχική τιμή του δείκτη για μία ορισμένη περίοδο προσδιορίζεται από ένα συγκεκριμένο μήνα (k) του υδρολογικού έτους και υπολογίζεται από την ακόλουθη εξίσωση:

$$a_k = \frac{\sum_{j=1}^{j=k} P_j}{\sum_{j=1}^{j=k} PET_j} \tag{1}$$

όπου P_j και PET_j είναι η βροχόπτωση και η δυνητική εξατμισοδιαπνοή, αντίστοιχα, για τον μήνα j του υδρολογικού έτους, το οποίο θεωρείται ότι ξεκινά από τον Οκτώβριο (k=1).

Ο α_k υπολογίζεται ως ένας γενικός δείκτης που περιγράφει τη μετεωρολογική ξηρασία και ο υπολογισμός του προτείνεται για περιόδους 3, 6, 9 και 12 μηνών. Αν επιλεγεί η περίοδος των 12 μηνών, τα αποτελέσματα είναι άμεσα συγκρίσιμα με τον Δείκτη Ξηρότητας (Aridity Index) της περιοχής. Αν ο α_{12} ενός συγκεκριμένου έτους είναι μικρότερος από τον Δείκτη Ξηρότητας (UNEP, 1992), τότε η περιοχή βρίσκεται σε κατάσταση ξηρασίας για το έτος αυτό.

Η δεύτερη έκφραση του δείκτη RDI_n (*Normalised RDI*) περιγράφεται από την εξίσωση:

$$RDI_n(k) = \frac{a_k}{\overline{a}_k} - 1 \tag{2}$$

όπου $\overline{a}_k$ ο αριθμητικός μέσος των α_k τιμών υπολογισμένων για n έτη.

Η τρίτη έκφραση του δείκτη RDI_{st} (*Standardized RDI*) υπολογίζεται βάσει της παρακάτω εξίσωσης:

$$RDI_{st}(k) = \frac{y_k - \overline{y}_k}{\hat{\sigma}_k} \tag{3}$$

όπου y_k ισούται με το $\ln a_k$, $\overline{y}_k$ είναι ο αριθμητικός του μέσος και $\hat{\sigma}_k$ είναι η τυπική του απόκλιση. Σημειώνεται ότι η παραπάνω έκφραση βασίζεται στην παραδοχή ότι οι τιμές α_k ακολουθούν λογαριθμοκανονική κατανομή.

Για τον προσδιορισμό του επιπέδου της έντασης της ξηρασίας βάσει του RDI_{st} μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι τιμές του Πίνακα 1.

Πίνακας 1. Τιμές RDI_{st} για τον προσδιορισμό της έντασης της ξηρασίας.

Τιμή RDI_{st}	**Κατηγορία έντασης ξηρασίας**
> 2.00	Εξαιρετικά υγρό
1.50 έως 1.99	Έντονα υγρό
1.00 έως 1.49	Μέτρια υγρό
0 έως 0.99	Κανονικές συνθήκες - Υγρό
0 έως -0.99	Κανονικές συνθήκες - Ξηρό
-1.00 έως -1.49	Μέτρια ξηρό
-1.50 έως -1.99	Έντονα ξηρό
< -2	Εξαιρετικά ξηρό

Παρατήρηση: Οι τιμές μεταξύ -0.50 και -0.99 αποτελούν ιδιαίτερη κλάση που χαρακτηρίζει την ήπια ξηρασία (Tsakiris et al., 2007a)

Εφόσον είναι γνωστή η σχέση μεταξύ του α_k και του RDI_{st} για μία συγκεκριμένη περιοχή και περίοδο, μπορούν να προσδιοριστούν δύο συντελεστές (c και b), από τους οποίους μπορεί να υπολογιστεί ο RDI_{st} για την αντίστοιχη περίοδο, σύμφωνα με τη σχέση:

$$RDI_{st}(k) = c \cdot \ln(a_k) + b \tag{4}$$

3. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΑΠΩΛΕΙΩΝ ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

Παρότι ο RDI είναι ένας γενικός δείκτης, ο οποίος εκφράζει κυρίως τη μετεωρολογική ξηρασία, η μορφή του επιτρέπει την εφαρμογή του για την εκτίμηση παραμέτρων που σχετίζονται με τη γεωργική παραγωγή, κυρίως όσον αφορά τις μη αρδευόμενες καλλιέργειες. Αυτό οφείλεται στο ότι σε αρκετές συναρτήσεις παραγωγής υπεισέρχεται ως ανεξάρτητη μεταβλητή η σχέση της πραγματικής προς τη δυνητική εξατμισοδιαπνοή (*ET/PET*). Υπάρχουν πολλά μοντέλα και μέθοδοι που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εκτίμηση του λόγου *ET/PET* με βάση τον RDI. Ένα από αυτά είναι των Zhang et al. (2004):

$$\frac{ET}{PET} = 1 + \frac{P}{PET} - \left[1 + \left(\frac{P}{PET}\right)^{w}\right]^{1/w} \tag{5}$$

όπου *ET* η πραγματική εξατμισοδιαπνοή, *PET* η δυνητική εξατμισοδιαπνοή και *P* η βροχόπτωση, για μια συγκεκριμένη περίοδο. Ο συντελεστής *w* εξαρτάται από την

εδαφοκάλυψη της περιοχής και ενδεικτικά παίρνει τις τιμές 2.84 για δενδρώδεις περιοχές και 2.55 για περιοχές με χαμηλή βλάστηση.

Έστω ότι αναφερόμαστε σε μία περίοδο k μηνών ενός υδρολογικού έτους, τότε χρησιμοποιώντας την εξίσωση (1) που περιγράφει την αρχική έκφραση του δείκτη RDI και για α_k μεγαλύτερο της μονάδας, η εξίσωση (5) παίρνει τη μορφή:

$$\frac{ET}{PET} = 1 + a_k - \left[1 + \left(a_k\right)^w\right]^{1/w} \tag{6}$$

Μία αδρομερής εκτίμηση των απωλειών της γεωργικής παραγωγής μπορεί να γίνει με την απλή γραμμική συνάρτηση παραγωγής που εκφράζεται με τη σχέση:

$$\frac{y}{y_0} = k_y \cdot \frac{ET}{PET} + (1 - k_y) \tag{7}$$

όπου y/y_0 είναι ο λόγος της πραγματικής προς τη μέγιστη παραγωγή και k_y είναι συντελεστής που εξαρτάται από το είδος της καλλιέργειας (π.χ. Doorenbos and Kassam, 1979).

Χρησιμοποιώντας την εξίσωση (6), η εξίσωση (7) παίρνει τη μορφή:

$$\frac{y}{y_0} = k_y \cdot \left(a_k - \left[1 + \left(a_k\right)^w\right]^{1/w}\right) + 1 \tag{8}$$

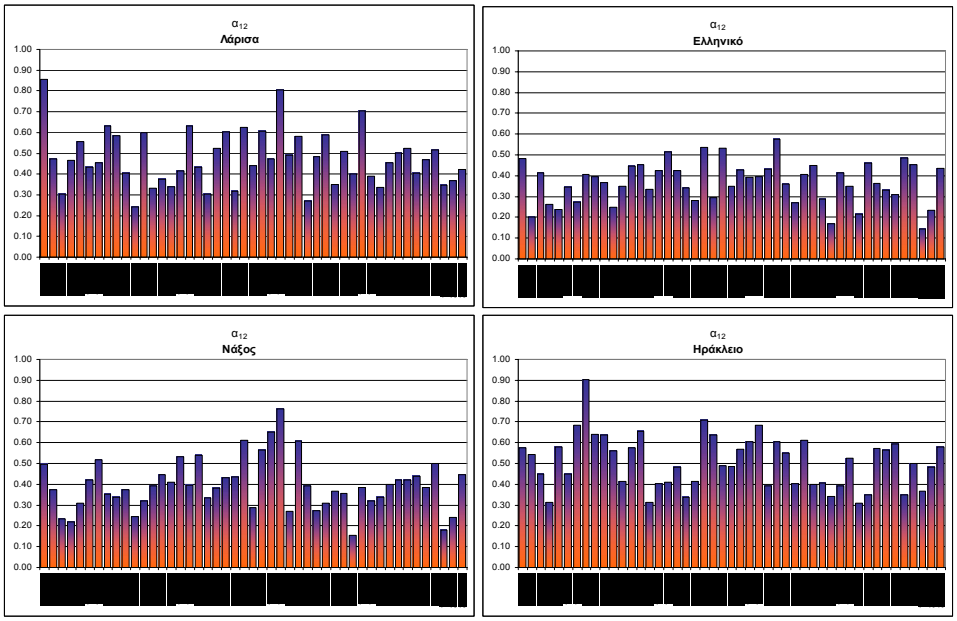
Η παραπάνω σχέση δίνει μια αδρομερή εκτίμηση των απωλειών της παραγωγής, εάν γνωρίζουμε την τιμή α_k του δείκτη RDI. Η εκτίμηση μπορεί να γίνει χρησιμοποιώντας ετήσιες τιμές του δείκτη (k=12), αλλά είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν και μικρότερες περίοδοι, οι οποίες να αντιστοιχούν στην περίοδο ανάπτυξης της καλλιέργειας.

4. ΕΦΑΡΜΟΓΗ

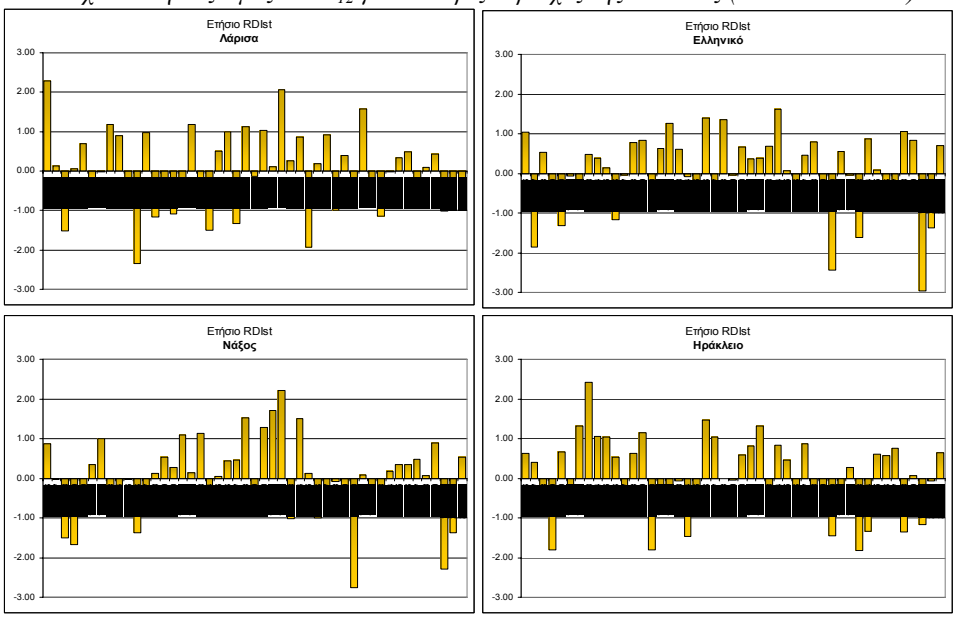
4.1 Εκτίμηση ξηρασίας σε περιοχές της Ελλάδας

Για τον προσδιορισμό των διαχρονικών συνθηκών ξηρασίας σε διάφορες περιοχές της Ελλάδας χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από τέσσερις μετεωρολογικούς σταθμούς της Ε.Μ.Υ.: στη Λάρισα, το Ελληνικό (Αθήνα), τη Νάξο και το Ηράκλειο.

Πιο συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα βροχόπτωσης των παραπάνω σταθμών, καθώς και δεδομένα μέσης θερμοκρασίας, από τα οποία προσδιορίστηκε η δυνητική εξατμισοδιαπνοή μέσω της μεθόδου Thornthwaite. Βάσει των στοιχείων αυτών υπολογίστηκαν οι τιμές του RDI για περίοδο 47 υδρολογικών ετών (1955 – 2002). Οι υπολογισμοί έγιναν με το λογισμικό *DrinC* (Tsakiris et al., 2007b) που έχει αναπτυχθεί στο Εργαστήριο Εγγειοβελτιωτικών Έργων & Διαχείρισης Υδατικών Πόρων του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν για τις ετήσιες τιμές του RDI (α_{12} και RDI_{st}) παρουσιάζονται στα Σχήματα 1 και 2.



Σχ. 1. Ετήσιες τιμές του a_{12} για τέσσερις περιοχές της Ελλάδας (πε. 1955 – 2002).



Σχήμα 2. Ετήσιες τιμές του RDI_{st} για τέσσερις περιοχές της Ελλάδας (περίοδος 1955 – 2002).

Από τα παραπάνω αποτελέσματα προσδιορίστηκαν οι συντελεστές *c* και *b* της εξίσωσης (4) όπως φαίνονται στον Πίνακα 2.

Πίνακας 2. Τιμές συντελεστών για τον υπολογισμό του RDI_{st} (για την περίοδο 1955 – 2002).

	k=3		k=4		k=5		k=6		k=7	
	c	*b*	*c*	*b*	*c*	*b*	*c*	*b*	*c*	*b*
Ελληνικό	2.3500	-0.3362	2.7163	-0.7530	3.0390	-1.0562	2.8501	-0.9759	3.0259	-0.5926
Ηράκλειο	2.4170	-0.0245	2.7439	-0.3234	3.0467	-0.5351	4.0078	-2.1648	3.6203	-1.4017
Λάρισα	2.3058	-1.0183	2.5689	-1.4435	2.8467	-1.7932	2.7353	-1.5847	2.9944	-1.1704
Νάξος	2.4857	0.1231	2.7372	-0.4350	2.9717	-0.7425	3.1468	-0.7760	3.0477	-0.2579
	k=8		k=9		k=10		k=11		k=12	
	c	*b*	*c*	*b*	*c*	*b*	*c*	*b*	*c*	*b*
Ελληνικό	3.151	0.3131	3.2739	1.4155	3.1930	2.3601	3.1772	3.0138	3.3020	3.4461
Ηράκλειο	3.7092	-0.4872	3.8481	0.6114	3.8816	1.6693	3.8644	2.4330	3.4264	3.4402
Λάρισα	3.1317	-0.2723	3.3969	0.8776	3.5470	1.9411	3.4415	2.5474	3.6594	2.8561
Νάξος	3.0959	0.4903	3.1391	1.3637	3.1422	2.1679	3.1408	2.7510	3.1335	3.0601

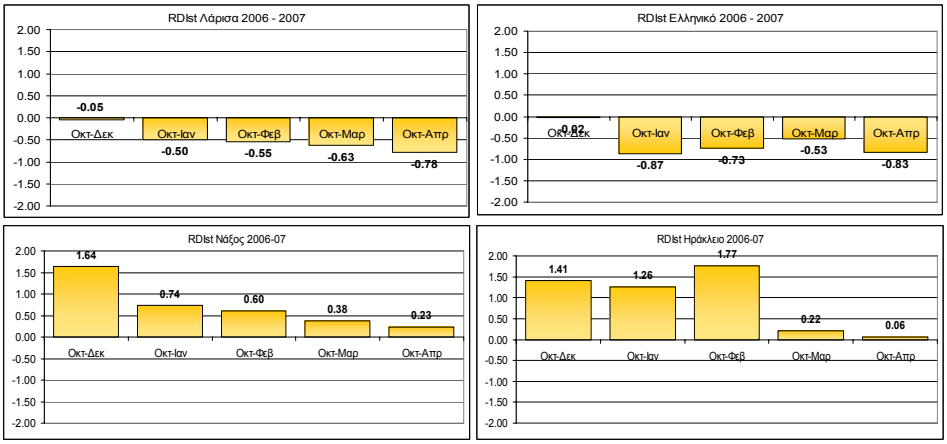
Χρησιμοποιώντας τα παραπάνω στοιχεία υπολογίστηκε ο RDI_{st} στις τέσσερις υπό μελέτη περιοχές, για το πρώτο 3-μηνο, 4-μηνο, 5-μηνο 6-μηνο και 7-μηνο του υδρολογικού έτους 2006 – 2007 (Σχήμα 3).

4.2 Εκτίμηση απωλειών παραγωγής λόγω της ξηρασίας

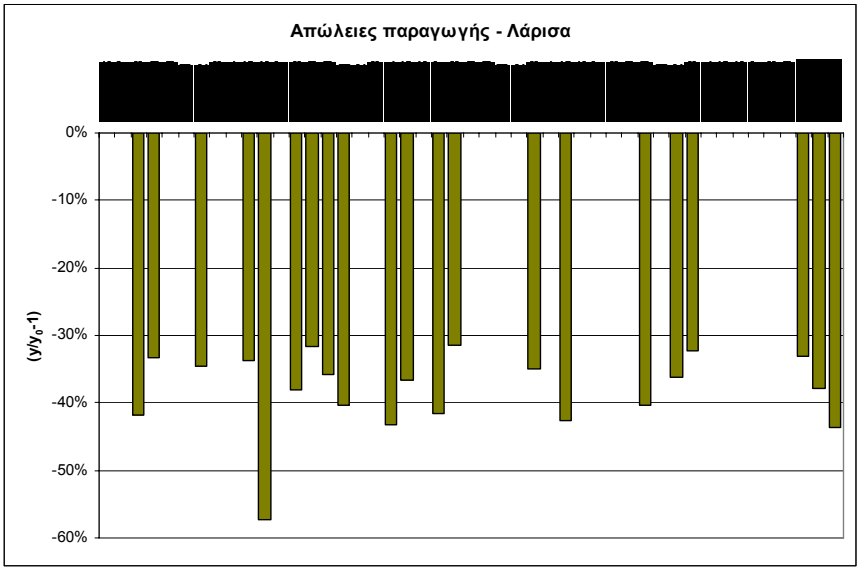
Στη συγκεκριμένη εφαρμογή χρησιμοποιήθηκαν τα μετεωρολογικά δεδομένα από την περιοχή της Λάρισας για την περίοδο 1955 – 2002 και εξετάστηκαν οι απώλειες παραγωγής καλλιέργειας χειμερινών σιτηρών (k_y = 1.0). Ως περίοδος αναφοράς θεωρήθηκε το πρώτο 8-μηνο κάθε υδρολογικού έτους (Οκτώβριος – Μάιος), δηλαδή k=8.

Χρησιμοποιώντας την εξίσωση (8) προκύπτουν οι απώλειες της παραγωγής για κάθε έτος (Σχήμα 4). Όπως φαίνεται από το Σχήμα 4 σημαντικότερες απώλειες παραγωγής παρουσιάζονται κατά το έτος 1965 – 66 και φτάνουν το 57%, ενώ υπάρχουν ακόμα 7 έτη με απώλειες μεγαλύτερες του 40% για την εξεταζόμενη περίοδο.

Οι απώλειες παραγωγής που παρουσιάζονται αναφέρονται σε σύγκριση με τη μέγιστη παραγωγή που θα επιτυγχανόταν υπό ιδανικές συνθήκες. Η πραγματική αναμενόμενη παραγωγή υπό φυσιολογικές συνθήκες, χωρίς να λαμβάνονται υπόψη άλλοι παράγοντες (ασθένειες φυτών, παγετός κτλ), θα είναι αυτή που επιτυγχάνεται όταν ο RDI_{st} παίρνει τιμές που κυμαίνονται στις κανονικές – υγρές συνθήκες (0.0 – 1.0). Για την εξεταζόμενη περιοχή η παραγωγή αυτή αντιστοιχεί περίπου στο 80% της μέγιστης παραγωγής.



Σχήμα 3. Τιμές του RDI_{st} για τέσσερις περιοχές της Ελλάδας (υδρολογικό έτος 2006 – 2007).



Σχήμα 4. Ποσοστό απωλειών παραγωγής (1955 – 2002).

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην εργασία αυτή παρουσιάστηκε ο δείκτης ξηρασίας RDI που στηρίζεται σε δύο μεταβλητές, την αθροιστική βροχόπτωση και την αθροιστική δυνητική εξατμισοδιαπνοή. Ο δείκτης RDI χρησιμοποιήθηκε για την αποτύπωση της κατάστασης ξηρασίας σε τέσσερις περιοχές της χώρας (σταθμοί Λάρισας, Ελληνικού, Νάξου και Ηρακλείου), για την περίοδο 1955- 2002. Επίσης, έγινε προσπάθεια παρακολούθησης της εξέλιξης της ξηρασίας για την περίοδο 2006 – 2007 στις περιοχές αυτές, βάσει των συντελεστών που προέκυψαν από τη μελέτη του ιστορικού δείγματος.

Η εργασία τέλος υποδεικνύει μια απλή μεθοδολογία για την αδρομερή εκτίμηση των απωλειών της γεωργικής παραγωγής με την εκτίμηση του λόγου ET/PET, χρησιμοποιώντας τον δείκτη RDI και την αντίστοιχη συνάρτηση παραγωγής.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η εργασία αυτή πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του ερευνητικού προγράμματος PRODIM (Proactive Management of Water Systems to Face Drought and Water Scarcity in Islands and Coastal Areas of the Mediterranean) - INTERREG III B ARCHIMED, που συγχρηματοδοτείται από κοινοτικούς και εθνικούς πόρους.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Doorenbos, J. and Kassam, A.H. (1979). Yield response to water, FAO, Irr. and Drain. Paper 33, Rome.

Rossi, G., 2000, Drought mitigation measures: a comprehensive framework. In 'Drought and Drought Mitigation in Europe'. J. Voght and F. Somma (Eds), Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.

Rossi, G., Benedini, M., Tsakiris, G., Giakoumakis S., 1992. On regional drought estimation and analysis. Water Resources Management 6:249-277.

Tsakiris G., Pangalou D., Vangelis H., 2007a. Regional drought assessment based on the Reconnaissance Drought Index (RDI). Water Resources Management 21:821-833

Tsakiris G., Tigkas D., 2007. Drought Risk in Agriculture in Mediterranean Regions. Case Study: Eastern Crete. In Rossi et al. (eds.) 'Methods and Tools for Drought Analysis and Management' 399-414. Springer, The Netherlands

Tsakiris G., Tigkas D., Vangelis H., Pangalou D., 2007b. Regional Drought Identification and Assessment – Case Study in Crete. In Rossi et al. (eds.) 'Methods and Tools for Drought Analysis and Management' 169-191. Springer, The Netherlands

Tsakiris G., Vangelis H., 2005. Establishing a Drought Index Incorporating Evapotranspiration. European Water, 9-10: 3-11

UNEP, 1992. World Atlas of Desertification. Edward Arnold, London.

Zhang L, Hickel K, Dawes WR, Chiew F, Western A., 2004. A rational function approach for estimating mean annual evapotranspiration. Water Resources Research, 40, W02502, doi:10.1029/2003WR002710

Ενότητα 3:

Αγροτικές Κατασκευές

(129)

ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΜΗΣΗΣ ΦΩΤΟΔΙΑΣΠΩΜΕΝΩΝ ΦΥΛΛΩΝ ΕΔΑΦΟΚΑΛΥΨΗΣ

Ι. Κυρίκου, Δ. Μπριασούλης και Μ. Χισκάκης
[1] Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής, Ιερά Οδός 75, Τ.Κ.11855 Αθήνα, e-mail : briassou@aua.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το αντικείμενο της εργασίας αυτής αφορά τη μελέτη της συμπεριφοράς φωτοδιασπώμενων φύλλων εδαφοκάλυψης (με βιολογικούς ή χημικούς μηχανισμούς) στο έδαφος. Ο συνολικός στόχος ήταν να διερευνηθούν τα ερωτήματα αυτά, με επιλεγμένες και τεκμηριωμένες μετρήσεις και αναλύσεις ορισμένων κρίσιμων παραμέτρων. Για το σκοπό αυτό πραγματοποιήθηκαν παράλληλα πειράματα μελέτης της βιοδιάσπασης σε πραγματικές συνθήκες και σε εργαστηριακή κλίμακα.. Η συμπεριφορά των φύλλων εδαφοκάλυψης με προοξειδωτικά δείχνει μια γρήγορη διάσπαση, ξαφνική και απότομη, σε πολύ λιγότερο χρονικό διάστημα από ότι στο PE.

EVALUATION OF DEGRADATION OF PHOTODEGRABLE MULCHING FILMS

I. Kyrikou, D. Briassoulis and M. Hiskakis
[1] Agricultural University of Athens, Department of Natural Resources Management and Agricultural Engineering, Iera Odos 75, 11855, Athens, Greece, briassou@aua.gr

ABSTRACT

The object of this work concerns the study of behavior of photodegradable mulching in the soil. The total objective was to investigate their mechanism of degradation and their fate in the soil. For this parallel experiments of study of biodegradation in real conditions and in laboratorial scale were performed. The analyzed mulching films with pro-oxidants, showed different degradational behavior than common PE, that occurs rather abrupt and in shorter period of time.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα πλαστικά είναι το υλικό του οποίου οι ιδιότητες μπορεί να διαφοροποιηθούν ανάλογα με ότι οι καταναλωτές επιθυμούν και χρειάζονται [1]. Οι ποσότητες πλαστικών που χρησιμοποιούνται ετησίως σε όλο τον κόσμο στο γεωργικού τομέα ανέρχονται σε δύο εκατομμύρια τόνους [2]. Σχεδόν η μισή ποσότητα χρησιμοποιείται στην προστατευμένη καλλιέργεια. Η μεγάλη πλειοψηφία κυριαρχείται από την χρήση πλαστικών φύλλων με βάση το πολυαιθυλένιο (PE). Ειδικότερα, το low-density πολυαιθυλένιο (LDPE) είναι ο ευρύτατα χρησιμοποιημένος τύπος πολυαιθυλενίου, λόγω των σχετικά καλών μηχανικών και οπτικών ιδιότητων του, σε συνδυασμό με μια ανταγωνιστική τιμή αγοράς [3].

Δεδομένου ότι οι ποσότητες πλαστικών που χρησιμοποιούνται στη γεωργία είναι πολύ μεγάλες και κάθε έτος η χρήση αυξάνεται, το πρόβλημα διάθεσης των συσσωρευμένων γεωργικών πλαστικών αποβλήτων είναι ένα γεγονός και οι επιλογές υποβάθμισης και διάθεσης, ή ενδεχομένως η βιοδιάσπαση των χρησιμοποιημένων πολυμερών σωμάτων, είναι ένα πολύ σημαντικό θέμα με οικονομικές και περιβαλλοντικές πτυχές [4]. Πολλά συνθετικά πολυμερή παράγονται και χρησιμοποιούνται επειδή είναι ανθεκτικά στη χημική και φυσική διάσπαση και είναι αυτά που παρουσιάζουν κυρίως τα προβλήματα διάθεσης όταν παύει η χρησιμότητά τους..Ένας από τους εναλλακτικούς τρόπους της διάθεσης για τα γεωργικά πλαστικά απόβλητα είναι η βιοδιάσπαση. Για το σκοπό αυτό έχουν σχεδιαστεί και συντεθεί ειδικά πολυμερή σώματα [4-6]. Μη-διασπόμενα πολυμερή σε γεωργικές εφαρμογές όντας ανθεκτικά στην υποβάθμιση (ανάλογα με το είδος του πολυμερούς, τις πρόσθετες ουσίες που έχουν χρησιμοποιηθεί για να αυξηθεί η αντοχή τους και να βελτιωθούν οι μηχανικές ιδιότητες τους κ.λπ.), τείνουν να συσσωρεύονται στο έδαφος εάν δεν συλλεχθούν για ανακύκλωση ή ανάκτηση ενέργειας, αλλά φρεζαρισθούν. Εναλλακτικά, η πιθανή φωτοδιάσπαση των φύλλων εδαφοκάλυψης από πολυαιθυλένιο σε μικρά θραύσματα μπορεί να οδηγήσει στη μόλυνση του χώματος και ρύπανση του περιβάλλοντος (συμπεριλαμβανομένης και της αισθητικής ρύπανσης). Ιδανικά, ένα διασπόμενο πολυμερές πρέπει να βιοδιασπάται πλήρως μην αφήνοντας καμία επιβλαβή ουσία στο περιβάλλον [7].

Από τα τέλη του 1980 γίνονται προσπάθειες σχεδιασμού πλαστικών υλικών που διασπώνται από μικροοργανισμούς. Τα πρώτα υλικά βασίστηκαν σε άμυλο και κυτταρίνη. Νέα υλικά, με απροσδιόριστες ιδιότητες διάσπασης στο έδαφος, εισάγονται ήδη σε γεωργική χρήση, χωρίς να έχει προηγηθεί εμπεριστατωμένη μελέτη του είδους της διάσπασης τους στο έδαφος και ενδεχομένως της απλής διάσπασης τους σε μικρά υπολείμματα και των πιθανών επιπτώσεων τους στη γεωργική παραγωγή, το εδαφικό σύστημα και το περιβάλλον. Τα κύρια τεχνικά προβλήματα που αφορούν στα βιοδιασπώμενα υλικά που έχουν γεωργικές εφαρμογές επικεντρώνονται στον προσδιορισμό του βαθμού και του ρυθμού της βιοδιάσπασης τους και αποδόμησης τους στο έδαφος καθώς και τις πιθανές περιβαλλοντικές επιπτώσεις [6].

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1 Υλικά

Τα φύλλα εδαφοκάλυψης που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία σχεδιάστηκαν ειδικά και βελτιστοποιήθηκαν για τις συγκεκριμένες γεωργικές εφαρμογές με προσθήκη προοξειδωτικών και UV σταθεροποιητών (το carbon black λειτουργεί και σαν UV σταθεροποιητής). Το συμβατικό φύλλο εδαφοκάλυψης πολυαιθυλενίου που χρησιμοποιήθηκε ως υλικό αναφοράς σε αυτά τα πειράματα ήταν 25μ LLDPE (με την πρόσθετη ουσία μόνο carbon black) ενώ το πειραματικό φύλλο

εδαφοκάλυψης ήταν LDPE 20μ και που περιείχε συνδυασμό προοξειδωτικών και carbon black ως σταθεροποιητή (εμπορικός τύπος 6031).

2.2. Πειράματα πλήρους κλίμακας

Πειράματα πλήρους κλίμακας σχεδιάσθηκαν και πραγματοποιήθηκαν στον πειραματικό αγρό του εργαστηρίου, στο αγρόκτημα του Γ.Π.Α. στα Σπάτα. Συγκεκριμένα φυτεύθηκαν κλίνες με επιλεγμένη καλλιέργεια (καρπουζιού) και έγιναν συγκρίσεις μεταξύ καλλιέργειας χωρίς εδαφοκάλυψη και καλλιεργειών με την χρήση διαφορετικών φύλλων εδαφοκάλυψης (κοινού φύλλου πολυεθυλενίου για έλεγχο και φύλλων εδαφοκάλυψης με προοξειδωτικά). Ο κύριος στόχος ήταν η εκτίμηση της βιοδιάσπασης υπό πραγματικές συνθήκες (συσσώρευση - αποδόμηση των υλικών αυτών). Η επίδραση των εδαφικών και κλιματικών συνθηκών καταγράφηκε. Με το πέρας της καλλιέργειας (πάροδος τριών μηνών) τα διασπώμενα υλικά ενσωματώθηκαν στο έδαφος μαζί με τα φυτικά υπολείμματα και μελετήθηκε η εξέλιξη της βιοδιάσπασης ή χημικής αποδόμησης των συγκεντρούμενων ποσοτήτων υλικών στο έδαφος, με σειρά περιοδικών δοκιμών των υπολειμμάτων.

2.3. Πειράματα διαφορικής θερμιδομετρίας σάρωσης

Η θερμότητα της τήξης των δειγμάτων αναλύθηκε από διαφορικό θερμιδόμετρο σάρωσης της εταιρείας Perkin Elmer (Differential Scanning Calorimeter Pyris 6). Η βαθμονόμηση του οργάνου έχει γίνει με ίνδιο. Συνολικά καταγράφηκαν θερμογράμματα διαδοχικών κύκλων θέρμανσης – ψύξης (α) μια πρώτη θέρμανση από -5 έως 200 ^{o}C, που ακολουθείται με (β) ψύξη από 200 έως -5 ^{o}C. Οι κύκλοι που καταγράφησαν ήταν τρεις. Ο πρώτος κύκλος φανερώνει τη θερμική ιστορία του δείγματος, ο δεύτερος είναι ο κύκλος που μας δείχνει την θερμότητα τήξης και τη μεταβολή και ο τρίτος κύκλος, ο οποίος είναι όμοιος με τον δεύτερο, γίνεται για επαλήθευση και έλεγχο των αποτελεσμάτων. Η ποσότητα των δειγμάτων ήταν περίπου 10 mg. Ο ρυθμός μεταβολής της θερμοκρασίας κατά την θέρμανση και την ψύξη ήταν 10 ^{o}C/min κάτω από ατμόσφαιρα αζώτου. Σε κάθε θερμόγραμμα υπολογίσθηκαν η θερμοκρασία τήξης και η μεταβολή της ενθαλπίας σε κάθε κύκλο (θερμότητα τήξης).Ο βαθμός κρυσταλλικότητας των δειγμάτων πολυαιθυλενίου υπολογίστηκε λαμβάνοντας ως θερμότητα τήξης για το καθαρό κρυστάλλικο πολυαιθυλένιο (PE 100%), 293.1 J/g [8].

2.4 Πειράματα Φασματοσκοπίας FTIR

Οι αναλύσεις FTIR εκτελέσθηκαν χρησιμοποιώντας την τεχνική ATR. Η ανάλυση εκτελέσθηκε σε ένα υπέρυθρο φασματόμετρο Bruker Tensor 27 εξοπλισμένο με κεφαλή ATR. Ελήφθησαν φάσματα από τα δείγματα που συλλέχθηκαν περιοδικά από τον αγρό (ανά εβδομάδα) στην περιοχή των 400-3500 cm $^{-1}$. Δεδομένου ότι οι ομάδες καρβονυλίων αποτελούν συνήθως τα περισσότερα από τα προϊόντα οξείδωσης στη θερμοοξειδωτική υποβάθμιση του πολυαιθυλενίου, η συγκέντρωση των ομάδων καρβονυλίων μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην παρακολούθηση της προόδου της υποβάθμισης, συνεπώς το ενδιαφέρον στράφηκε στην περιοχή καρβονυλίων (1700±1780 cm $^{-1}$). Η απορρόφηση των καρβονυλίων αποτελείται από τις διαφορετικές επικαλυπτόμενες ζώνες που αντιστοιχούν στα οξέα (1712 cm $^{-1}$), τις κετόνες (1723 cm $^{-1}$), τις αλδεΰδες (1730 cm $^{-1}$) και τις λακτόνες (1780 cm^{-1}) [8].

Ο δείκτης καρβονυλίων υπολογίστηκε ως αναλογία της απορρόφησης σε 1723 cm $^{-1}$ (το μέγιστο της κορυφής καρβονυλίων) και της απορρόφησης σε 1463 cm $^{-1}$ (CH_2 κορυφή scissoring).

2.4 Μηχανικές ιδιότητες

Οι μηχανικές δοκιμές έγιναν σε όργανο INSTRON. Τα δείγματα είχαν τοποθετηθεί για τεχνητή γήρανση σε ειδική συσκευή ακτινοβολίας UV (λάμπες UVA και UVB) σε συχνότητες που προσομοιάζουν το φυσικό ηλιακό φως αλλά πολύ μεγαλύτερης έντασης και σε σταθερή θερμοκρασία 50°C. Μετρήθηκαν η τάση εφελκυσμού και η επιμήκυνση θραύσεως σε παράλληλη και κάθετη διεύθυνση στα φύλλα εδαφοκάλυψης που συλλέγονταν περιοδικά (ανά εβδομάδα έκθεσης).

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

3.1. Πειράματα πλήρους κλίμακας

Τα πειράματα πλήρους κλίμακας πραγματοποιήθηκαν στον αγρό του Γεωπονικού Πανεπιστημίου στην περιοχή των Σπάτων για μια πλήρη καλλιεργητική περίοδο (3 μήνες). Χρησιμοποιήθηκε καλλιέργεια καρπουζιού.Στην *Εικόνα 1* παρουσίαζεται το φύλλο εδαφοκάλυψης στην αρχή και στο τέλος της καλλιεργητική περιόδου.

(α) (β)

Εικόνα 1. Φωτογραφίες των φύλλων εδαφοκάλυψης στον αγρό (α) στην αρχή της καλλιεργτικής περιόδου (β) στο τέλος της καλλιεργητικής περιόδου

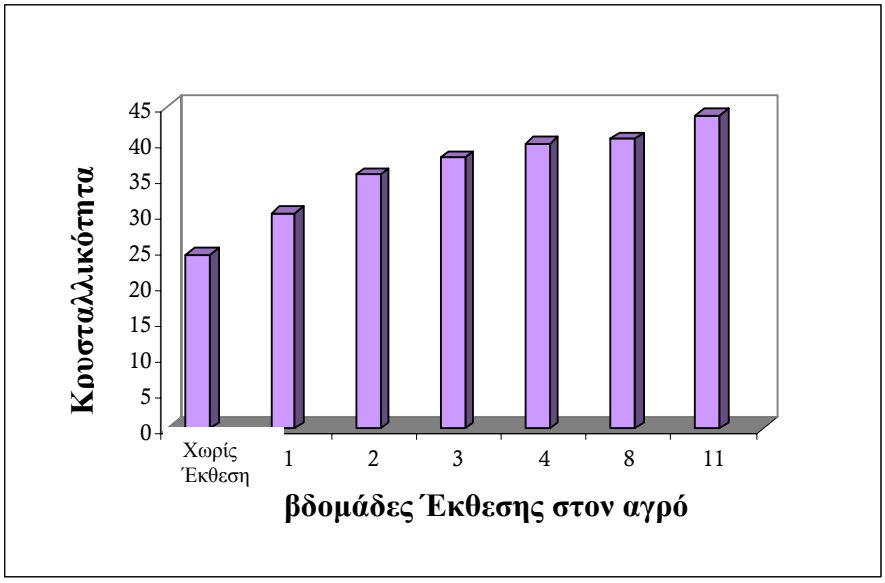
Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 1 μετά το πέρας της καλλιεργητικής περιόδου, το φύλλο εδαφοκάλυψης έχει θρυμματισθεί.

3.2 Πειράματα διαφορικής θερμιδομετρίας σάρωσης

Εκτός από τις διαφορές στην καθαρότητα του πολυμερούς, που οφείλονται στην υποβαθμιση του, τα αποτελέσματα της Διαφορικής Θερμιδομετρίας Σάρωσης επέτρεψαν την αξιολόγηση της θερμοκρασίας υποβάθμισης των υλικών. Το σημείο της κάμψης σε αυτήν την περιοχή αντιστοιχεί στη θερμοκρασία όπου η αρχίζει υποβάθμιση. Η θερμοκρασία οξείδωσης καθορίζεται μέσω των δυναμικών διαφορών της θερμοκρασίας. Επίσης κάθε δείγμα συμπεριφέρεται διαφορετικά. Οι τριτοταγείς άνθρακες (οι οποίοι σχηματίζονται μετά από τη διάσπαση) είναι σταθερότεροι από τους δευτεροταγείς και τους πρωτοταγείς, απαιτώντας κατά συνέπεια λιγότερη ενέργεια ενεργοποίησης για να σχηματισθούν. Συνεπώς ένα πολυμερές με μεγαλύτερο αριθμό περιοχών διακλάδωσης (περισσότερες διακλαδώσεις στις αλυσίδες) θα οδηγούσε σε περισσότερους τριτοταγείς άνθρακες με συνέπεια λιγότερο σταθερά υλικά. Μετά από τα αρχικά στάδια της

γήρανσης δημιουργούνται πολικές ομάδες στο πολυαιθυλένιο (καρβοξύλια) καθώς chain scission και cross-liking.

Τα αρχικά υλικά παρουσίασαν ενδόθερμες κορυφές στους 113°C. Παρατηρήθηκαν λόγω της υποβάθμισης νέες κορυφές ενεργειακής απορρόφησης καθώς και πραουσιάζεται μια διεύρυνση της ενδοθερμικής γραφικής παράστασης. Αυτά τα αποτελέσματα μπορούν να αποδοθούν στις αλλαγές στο μέγεθος κρυσταλλικότητας και στις διαφορές του μοριακού βάρους που επέρχονται από το σπάσιμο των αλυσίδων των πολυμερών και σε και δευτερο βαθμό επανακρυσταλλικοποίηση του πολυμερούς. Η μεταβολή της κρυσταλλικότητας όπως υπολογίστηκε φαίνεται στο *Σχήμα 1*.

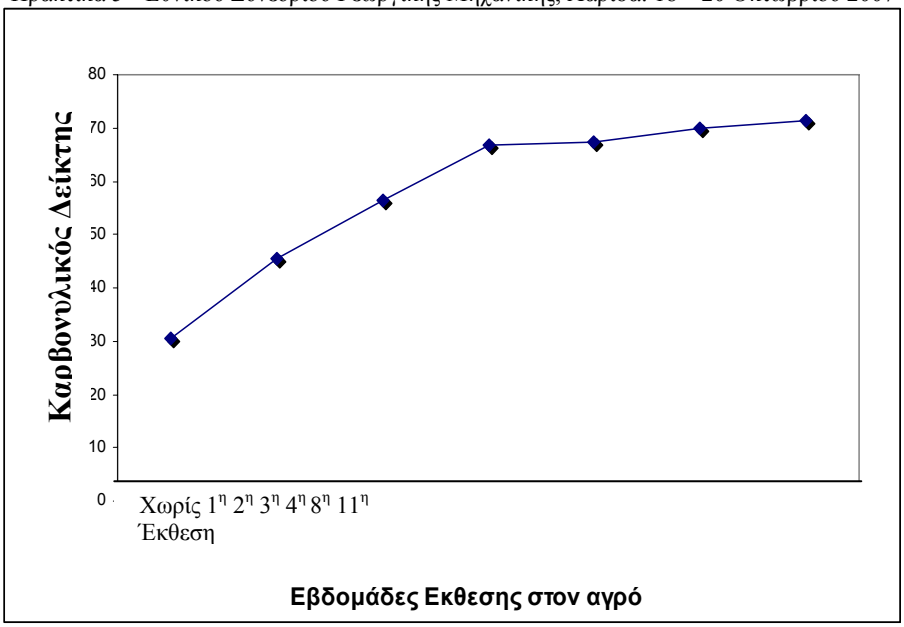


Σχήμα 1: Μεταβολή της κρυσταλλικότητας του φύλλου εδαφοκάλυψης του πολυαιθυλενίου με προοξειδωτικά.

3.3 Πειράματα Φασματοσκοπίας FTIR

Η απορρόφηση των καρβονυλίων αποτελείται από τις διαφορετικές αλληλο-επικαλυπτόμενες ζώνες που αντιστοιχούν στα οξέα (1712 cm^{-1}), τις κετόνες (1723 cm^{-1}), τις αλδεΰδες (1730 cm^{-1}) και τις λακτόνες (1780 cm^{-1}).

Ο δείκτης καρβονυλίων υπολογίστηκε ως αναλογία της απορρόφησης σε 1723 cm^{-1} (το μέγιστο της κορυφής καρβονυλίων) και της απορρόφησης σε 1463 cm^{-1} (CH_2 κορυφή scissoring) σε δείγματα που είχαν εκτεθεί στον αγρό (*Σχημα 2*).



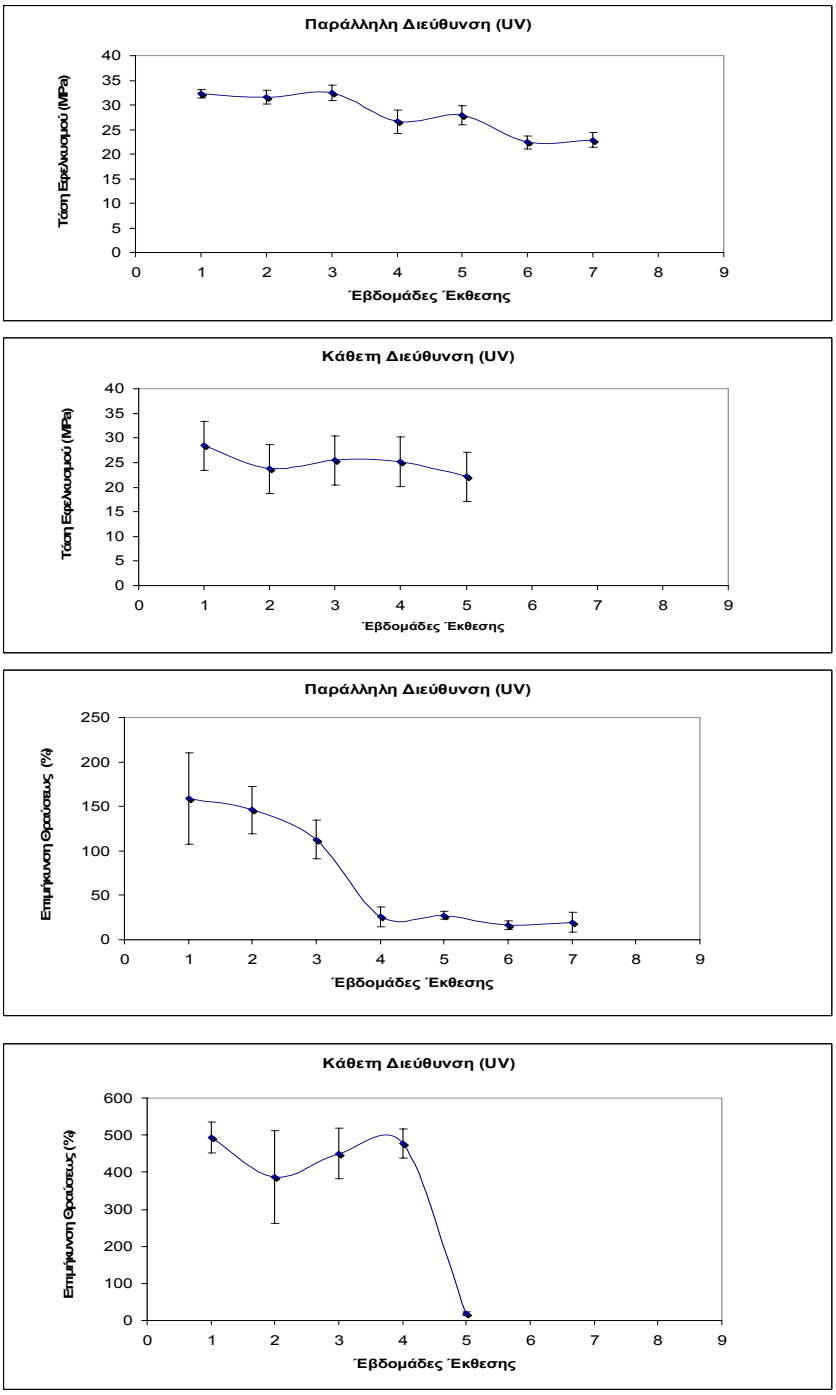
Σχήμα 2. Μεταβολή του καρβονυλικού δείκτη του φύλλου εδαφοκάλυψης του πολυαιθυλενίου με προοξειδωτικά (6031).

3.3 Μηχανικές ιδιότητες

Οι μηχανικές ιδιότητες που μετρήθηκαν στα δείγματα που εκτέθηκαν σε συνθήκες εντατικής ακτινοβολίας UV στο εργαστήριο (*Σχήμα 3)* δείχνουν ότι τόσο στην παράλληλη όσο και στην κάθετη διεύθυνση, υπάρχει μία μείωση της οριακής αντοχής και ειδικά της παραμόρφωσης στη θραύση από την τέταρτη εβδομάδα έκθεσης. Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα αυτά με τα αντίστοιχα αποτελέσματα FTIR που αφορούν τον καρβονυλικό δείκτη (*Σχήμα 2*) παρατηρείται συμφωνία μεταξύ του σχηματισμού των καρβονυλίων στο δείγμα (γήρανση) και της μηχανικής αποδόμησης όπως αυτή περιγράφεται ειδικά από τις καμπύλες της παραμόρφωσης στη θραύση [2,3]. Ειδικά στην εγκάρσια διεύθυνση μετά την πέμπτη εβδομάδα δεν μπορούν να γίνουν τα πειράματα γιατί το υλικό σπάζει πολύ εύκολα. Αυτή η συμπεριφορά εξηγεί τον μηχανισμό θρυμματισμού του υλικού σε δεδομένη χρονική στιγμή που καθορίζεται από το ποσό του προοξειδωτικού.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η συμπεριφορά των φύλλων εδαφοκάλυψης με προοξειδωτικά στα πειράματα πλήρους κλίμακας που έγιναν σε πραγματικές συνθήκες στον αγρό, δείχνει μια γρήγορη διάσπαση, η οποία συμβαίνει ξαφνικά και απότομα, σε πολύ λιγότερο χρονικό διάστημα από ότι στο συμβατικό πουλαιθυλένιο. Αυτή η συμπεριφορά οφείλεται στην ύπαρξη και δράση των προοξειδωτικών στα φύλλα. Οι ιδιότητες που επηρεάζονται περισσότερο είναι οι μηχανικές ιδιότητες (θρυμματισμός), καθώς και η χημική σύσταση, με τη δημιουργία ομάδων καρβονυλίου, όπως φαίνεται από τη μεταβολή του καρβονυλικού δείκτη και τις διαφορές στην κρυσταλλικότητα.



Σχήμα 3. Μεταβολή των μηχανικές ιδιοτήτων του φύλλου εδαφοκάλυψης του πολυαιθυλενίου με προοξειδωτικά (6031) κατά τη διάρκεια της έκθεσης του σε ισχυρή ακτινοβολία UV και θερμοκρασία 50°C στο εργαστήριο**.**

Αυτό που μένει πλέον να μελετηθεί είναι τι γίνονται αυτά τα μικρά κομμάτια των φυλλων, αν και κατά πόσον βιοδιασπώνται και με ποιο ρυθμό και πως επηρεάζουν την οικολογία του εδάφους (πιθανή ύπαρξη οικοτοξικότητας). Η έρευνα που αφορά στην πιθανή βιοδιάσπαση ή όχι των υπολειμμάτων (θρυμμάτων) αυτών των υλικών στο έδαφος είναι υπό εξέλιξη.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Το έργο συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση - Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο και από Εθνικούς Πόρους - ΕΠΕΑΕΚ ΙΙ.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Albertsson A.C., Barnstedt C. Karlsson S. 1995. Degradation of enhanced environmentally degradable propylene in biological aqueous media: mechanisms during the first stages, *J. Appl. Polym Sci,* 51:1097-1105.
2. Dilara P.A, Briassoulis D. 2000. Degradation and Stabilization of Low-Density Polyethylene films used as greenhouse covering materials, *J. Agr. Eng. Res* 76: 309-321.
3. Briassoulis D. 2005. The effects of tensile stress and the agrochemical Vapam on the ageing of low density polyethylene (LPDE) agricultural films. Part I. Mechanical behavior, *Polymer Degradation and Stability*, 88:489-503.
4. Chandra R., Rustgi R. 1998. Biodegradable Polymers, *Programming Polymer Science,* 23:1273-1335.
5. Stevens E.S., 2002. *Green Plastics: An Introduction to the New Science of Biodegradable Plastics*, Princeton University Press.
6. Stevens E.S. 2002. How Green are plastics?, *Biocycle* 43(12): 42-45.
7. Goldstein, N & Block, D. 2000. Sorting out the Plastic, *Biocycle - Journal of Composting and Organics Recycling,* 41(8):40-44.
8. Khabbaz F., Albertsson A-C, Karlsson S. 1999. Chemical and morphological changes of environmentally degradable polyethylene films exposed to thermo-oxidation, *Polymer Degradation and Stability* 63:127-138.

(148)

ΕΛΕΓΧΟΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΣΕ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑ ΜΕ ΗΛΙΑΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΥΝΔΥΑΣΜΕΝΟ ΜΕ ΥΔΡΟΡΡΟΗ ΥΔΡΟΠΟΝΙΑΣ

Γ. Ντίνας, Π. Κούγιας, Χ. Νικήτα- Μαρτζοπούλου
Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Γεωπονική Σχολή, Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών και εξοπλισμού, Τ.Κ. 54124, Θεσσαλονίκη,
e-mail: gntinas@agro.auth.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα εργασία διερευνά τη δυνατότητα εξοικονόμησης ενέργειας με τη χρήση ενός παθητικού ηλιακού συστήματος που αποτελείται από πλαστικές σακούλες με νερό και πλαστικούς σωλήνες PE σε ένα θερμοκήπιο με υδροπονική καλλιέργεια τομάτας. Οι πλαστικές σακούλες αξιοποιούν ένα σημαντικό ποσοστό τόσο της άμεσης όσο και της έμμεσης ακτινοβολίας, με αποτέλεσμα να λειτουργούν ως αποθήκες θερμότητας. Από την έρευνα αυτή διαπιστώθηκε ότι με την εφαρμογή του συγκεκριμένου παθητικού ηλιακού συστήματος μειώθηκε η χρήση συμβατικών καυσίμων για τις ανάγκες θέρμανσης του θερμοκηπίου.

ENVIROMENTAL CONTROL IN GREENHOUSES USING ENERGY SAVING SOLAR SYSTEM COMBINED WITH HYDROPONY

G. Ntinas, P. Kougias, Ch. Nikita- Martzopoulou
Aristotle University of Thessaloniki, School of Agriculture, Laboratory of Agriculture Structures and Equipment, T.K. 54006, Thessaloniki
e-mail: gntinas@agro.auth.gr

ABSTRACT

The present work investigates the possibility of energy saving using passive solar sleeves filled with water and PE plastic tubes in a greenhouse, where tomato is cultivated hydroponically. The passive solar sleeves exploit an important percentage of direct and indirect radiation and they act as deposits of heat. The conclusion of this research is that the use of conventional fuels for the needs of greenhouse heating was decreased with the installation of the particular passive solar system.

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα θερμοκήπια έχουν ως κύριο σκοπό την παραγωγή αγροτικών προϊόντων εκτός εποχής. Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με την προοδευτική αύξηση των εκτάσεων που καλύπτονται από θερμοκηπιακές καλλιέργειες οδήγησε σε αυξημένη κατανάλωση ενέργειας. Οι ενεργειακές ανάγκες των θερμοκηπίων για θέρμανση και δροσισμό προσεγγίζουν το 1.5% του ευρωπαϊκού συνολικού ενεργειακού προϋπολογισμού [1]. Ακόμα και στις νότιες ευρωπαϊκές χώρες, όπου επικρατούν ευνοϊκότερες κλιματικές συνθήκες, οι θερμοκηπιακές εγκαταστάσεις που είναι εξοπλισμένες με συστήματα θέρμανσης καταναλώνουν κατά μέσο όρο 7.5 l καυσίμου/ m^2/ έτος [2]. Σύμφωνα με μελέτες που διεξήχθησαν σε στρατηγικές θέρμανσης θερμοκηπίων έδειξαν ότι το κόστος θέρμανσης υπερβαίνει το 30% του συνολικού κόστους λειτουργίας των θερμοκηπίων [3].

Η ανάγκη εξοικονόμησης ενέργειας και το αυξανόμενο ενδιαφέρον για τη μείωση του ενεργειακού κόστους στα θερμοκήπια, οδήγησε σε εκτενείς προσπάθειες αξιοποίησης των ήπιων μορφών ενέργειας όπως είναι η γεωθερμική ενέργεια, η ενέργεια από βιομάζα και η ηλιακή ενέργεια [4]-[5].

Με τη χρήση παθητικών ηλιακών συστημάτων θέρμανσης, όπως το παθητικό ηλιακό σύστημα με πλαστικές σακούλες με νερό, μπορεί να επιτευχθεί μείωση της εξάρτησης από συμβατικά καύσιμα. Το σύστημα αυτό αποτελείται από πλαστικές, λείες και εύκαμπτες σακούλες πολυαιθυλενίου, οι οποίες είναι πληρωμένες με νερό και τοποθετούνται κατά μήκος των σειρών των φυτών. Η βασική αρχή λειτουργίας του είναι ότι, κατά τη διάρκεια της ημέρας το παθητικό ηλιακό σύστημα συλλέγει μέρος της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στις σακούλες θερμαίνοντας το περιεχόμενο νερό και συνεπώς λειτουργεί ως αποθήκη θερμότητας. Η αποθηκευμένη αυτή θερμότητα απελευθερώνεται στο εσωτερικό περιβάλλον του θερμοκηπίου εφόσον η θερμοκρασία του αέρα του θερμοκηπίου είναι μικρότερη από τη θερμοκρασία του νερού της σακούλας σωλήνα πολυαιθυλενίου.

Στην παρούσα έρευνα αξιολογήθηκε η απόδοση ενός παθητικού ηλιακού συστήματος θέρμανσης θερμοκηπίου συνδυασμένου με υδροπονική εγκατάσταση κατά την καλλιεργητική περίοδο της άνοιξης . Συγκεκριμένα υπολογίστηκε η εξοικονόμηση ενέργειας από τη χρήση παθητικού ηλιακού συστήματος πλαστικών σακούλων με νερό κατά τα χρονικά διαστήματα που απαιτείται θέρμανση. Ακόμα ελέγχθηκε η επίδραση του συστήματος αυτού στη ρύθμιση του περιβάλλοντος του θερμοκηπίου. Τέλος μελετήθηκαν οι επιπτώσεις στη βλαστική ανάπτυξη των φυτών της υδροπονικής καλλιέργειας.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Το πείραμα πραγματοποιήθηκε την Άνοιξη και συγκεκριμένα κατά τους μήνες Μάρτιο μέχρι Μάιο του 2007 σε τροποποιημένο τοξωτό πειραματικό θερμοκήπιο του Κέντρου Ελέγχου Γεωργικών Κατασκευών, (Κ.Ε.Γ.Κ.), που λειτουργεί υπό την εποπτεία του Εργαστηρίου Γεωργικών Κατασκευών και Εξοπλισμού, στο αγρόκτημα του Α.Π.Θ. Ο σκελετός του θερμοκηπίου αποτελείται από γαλβανισμένο σίδηρο ενώ το υλικό κάλυψης από πλαστικό πολυαιθυλένιο, (PE). Το συνολικό εμβαδό του θερμοκηπίου είναι 144m^2 και για το σκοπό του πειράματος χωρίστηκε σε δύο ίσα τμήματα των 70m^2 με ενδιάμεσο διαχωριστικό διάδρομο. Για τις ανάγκες αερισμού του θερμοκηπίου υπήρχε ένα πλαϊνό παράθυρο και ένα οροφής το οποίο είχε ρυθμιστεί να λειτουργεί αυτόματα. Η κρίσιμη τιμή θερμοκρασίας για τη λειτουργία του παραθύρου οροφής ήταν 23^oC άνω της οποίας το παράθυρο άνοιγε και κάτω της οποίας έκλεινε σταδιακά. Το έδαφος του θερμοκηπίου καλύφθηκε με λευκό πλαστικό εδαφοκάλυψης.

Το λευκό χρώμα επιλέχθηκε με σκοπό την αντανάκλαση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας.

Στο πειραματικό μέρος εγκαταστάθηκε παθητικό ηλιακό σύστημα κατά μήκος των πέντε σειρών των φυτών. Το παθητικό ηλιακό σύστημα απαρτίζονταν από δύο μέρη: α)μία κυλινδρική πλαστική σακούλα PE που πληρώθηκε με νερό και β)δύο περιφερειακούς σωλήνες PE , εκατέρωθεν της σακούλας, τους οποίους διαπερνούσε ρεύμα αέρα προερχόμενο από την αεραντλία. Μεταξύ των περιφερειακών σωλήνων και πάνω στην πλαστική σακούλα τοποθετήθηκαν πλάκες πετροβάμβακα μήκους 1m. Οι κυλινδρικοί σωλήνες είχαν κατά μήκος οπές από τις οποίες εξερχόταν μέρος του περιεχόμενου αέρα προς τις πλάκες πετροβάμβακα. Η παροχή της αεραντλίας εξασφάλιζε απόλυτη πληρότητα του εσωτερικού όγκου των περιφερειακών σωλήνων με αέρα. Οι περιφερειακοί σωλήνες χρησιμοποιούνταν ως πλαϊνά τοιχώματα για την απομάκρυνση του απορρέοντος θρεπτικού διαλύματος. Η θέρμανση του πειραματικού μέρους γινόταν με το παθητικό ηλιακό σύστημα και εφόσον δεν μπορούσαν να καλυφθούν οι απαιτήσεις θέρμανσης λειτουργούσε συμπληρωματικά το συμβατικό σύστημα με καυστήρα πετρελαίου.

Στο μάρτυρα οι πλάκες πετροβάμβακα τοποθετήθηκαν πάνω σε πλαστική υδρορροή και οι ανάγκες θέρμανσης καλύπτονταν εξολοκλήρου από το συμβατικό σύστημα θέρμανσης με καυστήρα πετρελαίου. Η κρίσιμη τιμή θερμοκρασίας για τη λειτουργία του συστήματος θέρμανσης ήταν 16°C. Το έδαφος του θερμοκηπίου καλύφθηκε με λευκό πλαστικό εδαφοκάλυψης. Η απορροή του θρεπτικού διαλύματος αν οδηγηθεί στο έδαφος προκαλεί ρύπανση του περιβάλλοντος και ιδιαίτερα του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα [6]. Για το λόγο αυτό και στα δύο μέρη του θερμοκηπίου το θρεπτικό διάλυμα που απέρρεε συγκεντρωνόταν σε υπόγειες δεξαμενές.

Η υδροπονική καλλιέργεια τόσο του πειράματος όσο και του μάρτυρα αποτελούνταν από 105 φυτά τομάτας (υβρίδιο Optima sp.). Σε κάθε πλάκα πετροβάμβακα τοποθετήθηκαν 3 φυτά σε απόσταση 20cm μεταξύ τους. Η άρδευση των φυτών γινόταν με θρεπτικό διάλυμα, μέσω μικροσωληνίσκων. Σε κάθε παρασκευή θρεπτικού διαλύματος γινόταν μέτρηση του pH και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας. Τα όργανα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν:

- Portable pH/mV/^{o}C Meter HANNA Instruments HI8424
- Portable Multi- Range Conductivity/TDS Meters HANNA Instruments HI8733

Καθόλη τη διάρκεια του πειράματος προσαρμόστηκε ένα σύστημα μέτρησης και καταγραφής των ακόλουθων δεδομένων: 1) της θερμοκρασίας και της υγρασίας του αέρα στο εσωτερικό περιβάλλον του θερμοκηπίου, 2) της θερμοκρασίας του πετροβάμβακα, 3) της θερμοκρασίας του νερού που περιέχεται μέσα στο φιλμ πολυαιθυλενίου και 4) της εισερχόμενης στο θερμοκήπιο ηλιακής ακτινοβολίας. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά των οργάνων μέτρησης ήταν:

- 14 αισθητήρες θερμοκρασίας τύπου PT-100, (1 αέρα, 12 υποστρώματος και 1 νερού).
- Ένα πυρανόμετρο τάξης Α.
- 4 αισθητήρες υγρασίας- θερμοκρασίας αέρα (HOBO H8).
- 1 αισθητήρας υγρασίας- θερμοκρασίας αέρα (HOBO PRO)
- Ολοκληρωμένος εξωτερικός μετεωρολογικός σταθμός, ο οποίος αποτελείται από ανεμόμετρο, ανεμοδείκτη, θερμόμετρο, πυρανόμετρο και υγρασιόμετρο.

Η συλλογή και η επεξεργασία των μετρήσεων γινόταν σε καταγραφικό δεδομένων (Data logger CR10) το οποίο ήταν συνδεδεμένο με υπολογιστή στο Κ.Ε.Γ.Κ.. Ο υπολογιστής είχε εγκατεστημένο λογισμικό, το οποίο υποστήριζε τη λήψη και καταγραφή των δεδομένων. Οι μετρήσεις τόσο από τους αισθητήρες θερμοκρασίας όσο και από το πυρανόμετρο καταγράφονταν ανά 5 λεπτά, ενώ παράλληλα υπήρχε η δυνατότητα παρακολούθησης των δεδομένων σε πραγματικό χρόνο. Οι αισθητήρες υγρασίας- θερμοκρασίας λειτουργούσαν αυτόνομα και κατέγραφαν τη σχετική υγρασία και τη θερμοκρασία του αέρα του θερμοκηπίου ανά 5 λεπτά. Στον ίδιο υπολογιστή κατέληγαν και οι μετρήσεις από τον μετεωρολογικό σταθμό. Για τον υπολογισμό των ωρών λειτουργίας του καυστήρα πετρελαίου εγκαταστάθηκαν δύο ωρομετρητές στον πίνακα ελέγχου του θερμοκηπίου.

Ακόμη, έγινε σύγκριση της βλαστικής ανάπτυξης των φυτών στο πειραματικό μέρος και στο μάρτυρα. Καθόλη τη διάρκεια του πειράματος μετρήθηκαν το ύψος των φυτών και η περίμετρος των βλαστών με συχνότητα μέτρησης ανά 10 μέρες. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε 15 φυτά του πειραματικού μέρους και 15 στο μάρτυρα (Σχήμα 2).

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ- ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Όπως φαίνεται στον πίνακα 1 το σύνολο ωρών λειτουργίας του καυστήρα πετρελαίου, από 1 Μαρτίου μέχρι 31 Μαΐου, για το μάρτυρα ανήλθε σε 226.46 ώρες. Στο πειραματικό μέρος, στο οποίο εγκαταστάθηκε παθητικό ηλιακό σύστημα, η θέρμανση με συμβατικό καύσιμο ήταν συμπληρωματική. Ο ωρομετρητής κατέγραψε 144.88 ώρες συνολικής λειτουργίας του καυστήρα για την κάλυψη των αναγκών θέρμανσης. Δεδομένου ότι η έρευνα διεξήχθη κατά την ανοιξιάτικη καλλιεργητική περίοδο, οι ανάγκες θέρμανσης προοδευτικά μειώνονταν.

Πίνακας 1. Σύνολο ωρών λειτουργίας του καυστήρα πετρελαίου για το χρονικό διάστημα 1ης Μαρτίου έως 31ης Μαΐου 2007

	ΣΥΝΟΛΟ ΩΡΩΝ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΚΑΥΣΤΗΡΑ ΣΕ ΩΡΕΣ		ΔΙΑΦΟΡΑ ΣΤΟ ΧΡΟΝΙΚΟ ΔΙΑΣΤΗΜΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ
	ΠΕΙΡΑΜΑ	ΜΑΡΤΥΡΑΣ	
ΜΑΡΤΙΟΣ	89.03	126.7	37.67
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	54.86	92.19	37.33
ΜΑΪΟΣ	0.99	7.57	6.58
ΣΥΝΟΛΟ	144.88	226.46	81.58

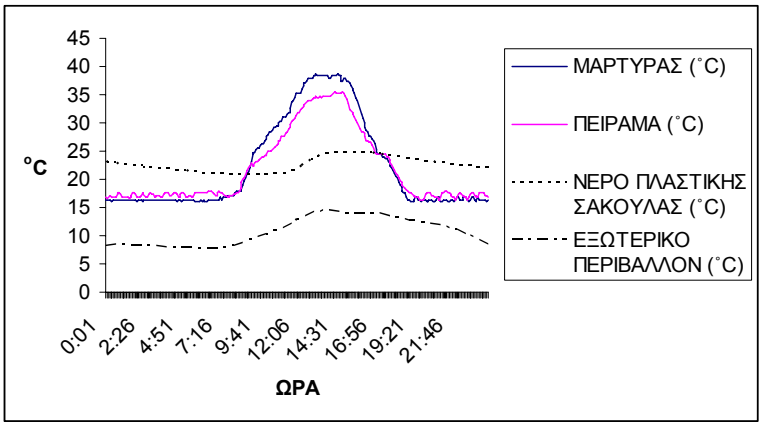
Όπως διαπιστώνεται στο πείραμα η λειτουργία του καυστήρα εμφανίζεται μειωμένη σημαντικά για κάθε μήνα. Στο σύνολο των ημερών διεξαγωγής της έρευνας η διαφορά στο χρονικό διάστημα λειτουργίας ανήλθε σε 81.58 ώρες.

Στον πίνακα 2 φαίνεται η μηνιαία και η συνολική εξοικονόμηση ενέργειας με τη χρήση του παθητικού ηλιακού συστήματος. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των μετρήσεων το ποσοστό εξοικονόμησης ήταν αρκετά σημαντικό και ικανό για τη μείωση του ενεργειακού κόστους του θερμοκηπίου. Θεωρητικοί υπολογισμοί δείχνουν ότι η χρήση παθητικών ηλιακών συστημάτων με πλαστικές σακούλες με νερό σε θερμοκήπια μπορεί να εξοικονομήσει έως και 8% της εισερχόμενης ενέργειας [7].

Πίνακας 2. Μηνιαία και συνολική εξοικονόμηση ενέργειας, (%)

	ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (%)
ΜΑΡΤΙΟΣ	29.7
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	40.4
ΜΑΪΟΣ	86.9
ΣΥΝΟΛΙΚΑ	36.0

Στο σχήμα 1 παρουσιάζονται οι διακυμάνσεις της θερμοκρασίας του αέρα στα δύο τμήματα του θερμοκηπίου, στον αέρα του εξωτερικού περιβάλλοντος και στο νερό της πλαστικής σακούλας κατά τη διάρκεια του εικοσιτετραώρου της 17.3.2007. Όπως φαίνεται η θερμοκρασία του εσωτερικού περιβάλλοντος του πειράματος για το πρώτο οκτάωρο της ημέρας ήταν περίπου 1°C υψηλότερη από αυτή του μάρτυρα. Για το ίδιο χρονικό διάστημα παρατηρήθηκε ότι η θερμοκρασία του αέρα στο περιβάλλον του μάρτυρα ήταν για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα χαμηλότερη από την κρίσιμη τιμή των 16°C με αποτέλεσμα την καύση πετρελαίου για την κάλυψη των αναγκών θέρμανσης Στις 16.20 όπου η θερμοκρασία του εξωτερικού περιβάλλοντος αρχίζει να πέφτει παρατηρείται ότι η πτώση της θερμοκρασίας του αέρα στο μάρτυρα είναι πιο απότομη. Αντίθετα, στο πειραματικό τμήμα του θερμοκηπίου, λόγω της παρουσίας παθητικού ηλιακού συστήματος, η πτώση θερμοκρασίας του αέρα είναι πιο ομαλή. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η ενέργεια που είναι αποθηκευμένη, υπό μορφή θερμότητας, στις πλαστικές σακούλες, μεταδίδεται με αγωγή, μεταφορά και ακτινοβολία στο εσωτερικό περιβάλλον του θερμοκηπίου, με αποτέλεσμα να διατηρεί υψηλότερη τη θερμοκρασία του αέρα.



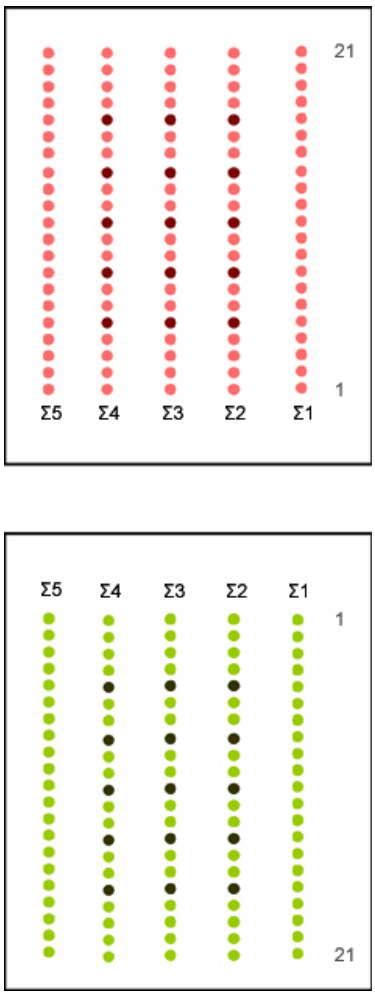
Σχήμα 1. Διαφοροποίηση της θερμοκρασίας του αέρα των δύο τμημάτων κατά τη διάρκεια ενός εικοσιτετραώρου

Στον πίνακα 3 παρουσιάζεται η επίδραση του παθητικού ηλιακού συστήματος θέρμανσης στη βλαστική ανάπτυξη της υδροπονικής καλλιέργειας τομάτας. Η πλαστική σακούλα πολυαιθυλενίου, με τη δομή που είχε, συνετέλεσε στην αναδιανομή του εσωτερικού αέρα του θερμοκηπίου, με αποτέλεσμα να επιτευχθούν ομοιόμορφες συνθήκες περιβάλλοντος. Η σωστή θερμοκρασία, υγρασία και εναλλαγή του ατμοσφαιρικού αέρα είναι βασικά κριτήρια για την ανάπτυξη των βλαστών και των

φύλλων των φυτών. Από τις μετρήσεις στο πειραματικό μέρος και στο μάρτυρα (σχήμα 2) προέκυψε ότι τα φυτά τομάτας στο πειραματικό μέρος παρουσίασαν ταχύτερη βλαστική ανάπτυξη.

Πίνακας 3. Διαφοροποίηση ύψους (cm) και περιμέτρου (cm) των φυτών τομάτας στο πείραμα και στο μάρτυρα, στο τέλος του πειράματος.

	ΥΨΟΣ ΦΥΤΩΝ (cm)		ΠΕΡΙΜΕΤΡΟΣ ΦΥΤΩΝ (cm)	
ΘΕΣΗ ΦΥΤΟΥ	ΠΕΙΡΑΜΑ	ΜΑΡΤΥΡΑΣ	ΠΕΙΡΑΜΑ	ΜΑΡΤΥΡΑΣ
2.5	220	160	6.5	6.8
2.8	180	178	7	6.5
2.11	200	178	6.6	6.4
2.14	200	185	7.4	7.2
2.17	200	175	7.6	6.8
3.5	210	160	7.3	6.7
3.8	195	175	7.5	6.6
3.11	200	165	7.1	7.1
3.14	190	165	6.8	6.9
3.17	200	160	7.4	6.7
4.5	205	185	6.7	7.2
4.8	195	165	6.6	7
4.11	195	174	7.4	6.8
4.14	180	185	7.1	7.2
4.17	195	180	6.4	7
Μ.Ο.	197.67	172.67	7.03	6.86
ΔΙΑΦΟΡΟΠΟΙΗΣΗ (%)	12.65		2.37	



Σχήμα 2. Αρίθμηση των φυτών και των σειρών. Κάθε σειρά (Σ) περιλαμβάνει 21 φυτά. Με έντονο χρώμα σημειώνονται τα φυτά που συμμετείχαν στις μετρήσεις.

Τα φυτά τομάτας στο πειραματικό μέρος είχαν ύψος κατά μέσο όρο 197.67cm, ενώ στο μάρτυρα 172.67cm, είχαν δηλαδή διαφοροποίηση σε σχέση με εκείνα του μάρτυρα της τάξης του 12.65%. Στη μέτρηση της περιμέτρου που πραγματοποιήθηκε σε ύψος 10cm στο βλαστό, παρατηρήθηκε μικρή διαφοροποίηση της τάξης του 2.37%. Δηλαδή, στο πειραματικό μέρος ο μέσος όρος περιμέτρου βρέθηκε 7.03cm, ενώ στο μάρτυρα ήταν 6.86cm.

Συμπερασματικά το σύστημα θέρμανσης που μελετήθηκε, μείωσε σημαντικά το ενεργειακό κόστος για τις ανάγκες θέρμανσης του θερμοκηπίου και επέδρασε θετικά στην ανάπτυξη των φυτών της καλλιέργειας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Santamouris M., Balaras C.A., Daskalaki E.and Vallindras M., 1994. Passive solar agricultural greenhouses: A worldwide classification and evaluation of technologies and systems used for heating purposes. *Solar Energy*, 53(5): 411-426.

2. Caouris Y., Kittas C., and Santamouris M., 1989. Regional monthly estimation of greenhouses energy consumption: application to Greece. *Solar & Wind Techn*.. 6(3): 225-233.
3. Santamouris M., Argiriou A. and Vallindras M., 1994. Design and operation of a low energy consumption passive solar agricultural greenhouse, *Solar Energy*, 52(5): 371-378.
4. Kittas K., Papadakis G., Bartzanas Th. and Giaglaras P., 1999. Renewable Energy Sources and Energy Saving in Mediterranean Greenhouses. *Proc. of Energy and Agriculture towards the Third Millennium*, Athens, Greece 1999.
5. Nikita-Martzopoulou C., 2002. Agricultural Aspects of Geothermal Heating in Greenhouses. *Proc. of the International Course on Geothermal Energy for District Heating, Agricultural and Agro- Industrial Uses*, Thessaloniki, Greece 2002.
6. Σιώμος Α., 2001. *Καλλιέργεια λαχανικών στο θερμοκήπιο* Διδακτικες Σημειώσεις, Τμήμα Εκδόσεων Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη, Ελλάδα, 9 σελ.
7. Mavrogianopoulos G. and Kyritsis S., 1993. Analysis and performance of a greenhouse with water filled passive solar sleeves. *Agricultural and Forest Meteorology*, 65:47-61.

(170)

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΣΤΟΝ ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΟ ΤΩΝ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΩΝ ΜΕ CO_2 ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΑΝΟΙΞΙΑΤΙΚΗ ΚΑΛΛΙΕΡΓΗΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟ

Δ. Βαφειάδης[1], Μ. Μπότας[1], Χ. Παπαμάνθος[1] και Χ. Νικήτα-Μαρτζοπούλου[1]

[1]Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Γεωπονική Σχολή, Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών και Εξοπλισμού, Τ.Κ.: 54124, Θεσσαλονίκη,
e-mail: dvaf@agro.auth.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η εργασία αυτή διερευνά την επίδραση της υγρασίας στον εμπλουτισμού των θερμοκηπίων με CO_2. Η εφαρμογή εμπλουτισμών με CO_2 απαιτεί κάποια απαραίτητα χρονικά διαστήματα κατά τα οποία το θερμοκήπιο παραμένει κλειστό χωρίς αερισμό. Αν κατά τη διάρκεια αυτών των διαστημάτων η σχετική υγρασία δεν ξεπερνά τα άριστα επίπεδα, επιτυγχάνεται η μέγιστη δυνατή διάρκεια εμπλουτισμού χωρίς να επηρεάζεται αρνητικά η ανάπτυξη των φυτών. Από την ανάλυση των αποτελεσμάτων προέκυψε το συμπέρασμα ότι η υγρασία δεν αποτελεί περιοριστικό παράγοντα του εμπλουτισμού με CO_2.

INFLUENCE OF HUMIDITY ON CO_2 ENRICHMENT OF GREENHOUSES DURING THE SPRING CULTIVATION PERIOD

D. Vafiadis[1], M. Botas[1], Ch. Papamanthos[1] and Ch. Nikita-Martzopoulou[1]

[1]Aristotle University of Thessaloniki, School of Agriculture, Lab. of Agricultural Structures and Equipment, 54124, Thessaloniki, e-mail:dvaf@agro.auth.gr

ABSTRACT

This work investigates the influence of humidity in the CO_2 enrichment of greenhouses. The application of CO_2 enrichment demands some necessary time periods at which the greenhouse is kept with no ventilation. In the case that the relative humidity doesn't exceed the optimum levels the maximum possible enrichment duration is successed without any negative influence on plants growth. The analysis of the results concluded that the humidity is not a restricted factor of the CO_2 enrichment. ,

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η υγρασία αποτελεί έναν από τους τέσσερις βασικούς παράγοντες του περιβάλλοντος του θερμοκηπίου και η μεταβολή της επηρεάζει άμεσα και έμμεσα τα φυτά. Η άμεση επίδραση της υγρασίας αφορά κυρίως τη λειτουργία της διαπνοής, τη φωτοσύνθεση και τη γενικότερη ανάπτυξη των φυτών, ενώ η έμμεση επίδραση αφορά την ανάπτυξη μυκητολογικών ασθενειών. Τα άριστα επίπεδα σχετικής υγρασίας για την ανάπτυξη των περισσοτέρων καλλιεργούμενων C3 φυτών στα θερμοκήπια κυμαίνονται από 70 έως 80%, [1].

Ο εμπλουτισμός των θερμοκηπίων με CO_2 αποτελεί μία τεχνική η οποία οδηγεί σε θεαματική αύξηση της παραγωγής, καθώς και στη βελτίωση της ποιότητας των παραγόμενων προϊόντων. Κατά τη διάρκεια της εφαρμογής των εμπλουτισμών, τα θερμοκήπια παραμένουν δίχως αερισμό για κάποιο χρονικό διάστημα με αποτέλεσμα την άνοδο της σχετικής υγρασίας, εξαιτίας της διαπνοής των φυτών και της εξάτμισης του νερού από το έδαφος. Η αποτελεσματικότητα του εμπλουτισμού εξαρτάται από τη διάρκεια εφαρμογής του, η οποία καθορίζεται κυρίως από την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας και από τη θερμοκρασία. Αν η σχετική υγρασία κατά τη διάρκεια των εμπλουτισμών ανέρχεται πάνω από τα θεμιτά επίπεδα, τότε ο εμπλουτισμός πρέπει να διακόπτεται για αερισμό του θερμοκηπίου με αποτέλεσμα να μειώνεται ο συνολικός χρόνος εφαρμογής του και κατ' επέκταση η αποτελεσματικότητα του.

Η ανοιξιάτικη καλλιεργητική περίοδος επιλέχθηκε ως χρονική περίοδος έρευνας, καθώς το 75-95% της συνολικής ετήσιας θερμοκηπιακής παραγωγής κηπευτικών προϊόντων στην Ελλάδα προέρχεται από αυτήν την περίοδο, [2].

2.ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

Σκοπός της έρευνας είναι να διαπιστωθεί αν η υγρασία αποτελεί περιοριστικό παράγοντα του εμπλουτισμού με CO_2, κατά την καλλιεργητική περίοδο της άνοιξης. Τα χρονικά διαστήματα τα οποία επιλέχτηκαν, σύμφωνα με τις επικρατούσες καιρικές συνθήκες, για να πραγματοποιηθούν οι μετρήσεις ήταν ο Μάιος και ο Ιούνιος του 2004. Με την επιλογή αυτών των χρονικών διαστημάτων και λαμβάνοντας υπόψη και το μεταβαλλόμενο στάδιο ανάπτυξης της καλλιέργειας μελετήθηκαν δύο συνδυασμοί των κύριων παραγόντων που επηρεάζουν τη διακύμανση της σχετικής υγρασίας. Συγκεκριμένα:

- Καλλιέργεια με μικρή ως μεσαία ανάπτυξη και θερμοκρασίες κυμαινόμενες από χαμηλά σε μεσαία ως υψηλά επίπεδα, (χρονική περίοδος του Μαΐου).
- Καλλιέργεια με μεσαία ως υψηλή ανάπτυξη και θερμοκρασίες σε υψηλά επίπεδα, (χρονική περίοδος του Ιουνίου).

3.ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Η έρευνα πραγματοποιήθηκε σε θερμοκήπιο του Κέντρου Ελέγχου Γεωργικών Κατασκευών (Κ.Ε.Γ.Κ.), που λειτουργεί υπό την εποπτεία του Εργαστηρίου Γεωργικών Κατασκευών και Εξοπλισμού, στο αγρόκτημα του Α.Π.Θ.. Πρόκειται για ένα τροποποιημένο τοξωτό πολλαπλό πειραματικό θερμοκήπιο έκτασης 140 m^2 με υλικό κάλυψης το πολυαιθυλένιο. Το έδαφος του θερμοκηπίου καλύφτηκε με μαύρο υδατοδιαπερατό πλαστικό εδαφοκάλυψης και εγκαταστάθηκε καλλιέργεια αποτελούμενη από 75 φυτά πιπεριάς και 75 φυτά τομάτας. Το CO_2 προερχόμενο από φιάλη χωρητικότητας 35Kg, διανέμονταν στο χώρο του θερμοκηπίου με τη βοήθεια ενός δικτύου σωληνώσεων μέσα στις σειρές των φυτών και σε ύψος 0.5 m από το έδαφος. Οι σωλήνες είχαν στο κάτω μέρος τους οπές ανά ένα μέτρο. Ένας εκτονωτής πίεσης

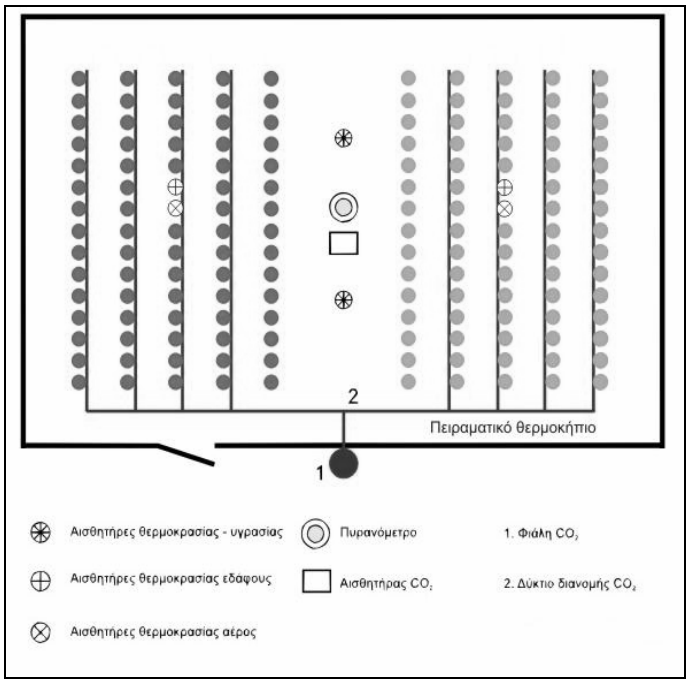
βοηθούσε την ομαλή ροή του CO_2 καθώς αυτό βρισκόταν υπό πίεση σε υγρή μορφή, (σχήμα 1).

Για τη διεξαγωγή του πειράματος χρησιμοποιήθηκαν τα παρακάτω όργανα μετρήσεων:

- 4 αισθητήρες θερμοκρασίας τύπου PT-100, (2 αέρος, 2 εδάφους).
- Ένας αισθητήρας CO_2 (Double Beam Infrared CO_2 Analyzer).
- Ένα πυρανόμετρο τάξης Α.
- 2 αισθητήρες υγρασίας-θερμοκρασίας αέρα (HOBO H8).
- Ολοκληρωμένος εξωτερικός μετεωρολογικός σταθμός, ο οποίος αποτελείται από ανεμόμετρο, ανεμοδείκτη, θερμόμετρο, πυρανόμετρο και υγρασιόμετρο.

Η συλλογή και επεξεργασία των μετρήσεων γινόταν σε καταγραφικό δεδομένων (Data logger CR10), το οποίο ήταν συνδεδεμένο με υπολογιστή στο Κ.Ε.Γ.Κ.. Οι μετρήσεις από τους αισθητήρες θερμοκρασίας καταγράφονταν ανά 10 λεπτά, του πυρανόμετρου ανά 5 λεπτά, του αισθητήρα CO_2 ανά 1 λεπτό. Το πρόγραμμα του υπολογιστή έδινε τη δυνατότητα παρακολούθησης των μετρήσεων σε πραγματικό χρόνο.

Οι αισθητήρες υγρασίας λειτουργούσαν αυτόνομα και κατέγραφαν τη σχετική υγρασία, τη θερμοκρασία και τη θερμοκρασία του σημείου δρόσου του αέρα του θερμοκηπίου ανά 4 λεπτά. Από τις μετρήσεις των αισθητήρων υγρασίας επιλέχθηκε ο μέσος όρος των τιμών της σχετικής υγρασίας.



Σχήμα 1. Κάτοψη του θερμοκηπίου και οι θέσεις τοποθέτησης των αισθητήρων

Η μέθοδος εμπλουτισμών η οποία εφαρμόστηκε είναι αυτή των υψηλών θερμοκρασιών, [3]-[5]. Η μέθοδος αυτή στηρίζεται στο γεγονός ότι με την αύξηση της συγκέντρωσης του CO_2 σε επίπεδα υψηλότερα από τα κανονικά, μετατοπίζεται η άριστη θερμοκρασία ανάπτυξης των περισσοτέρων C3 φυτών από τους 23°C στους 30-32°C, [6]-[8].

Οι παράγοντες που καθόριζαν τα χρονικά διαστήματα των εμπλουτισμών ήταν η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας και η θερμοκρασία στο εσωτερικό του θερμοκηπίου. Τις πρωινές ώρες ως χρονικό διάστημα εμπλουτισμού, ορίστηκε το χρονικό διάστημα από το σημείο όπου η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας ανέρχονταν πάνω από το σημείο ισοστάθμισης του φωτός μέχρι το σημείο όπου οι θερμοκρασίες υπερέβαιναν τους 30-32°C. Τις απογευματινές ώρες ως θερμοκρασία έναρξης των εμπλουτισμών τέθηκαν οι 27°C, καθώς ο ήλιος βρισκόταν στη δύση του και η θερμοκρασία στο εσωτερικό του θερμοκηπίου δεν μπορούσε να ανέλθει πάνω από τους 30-32°C μετά από το κλείσιμο των παραθύρων. Στην περίπτωση αυτή ο παράγοντας που καθόριζε τη διακοπή της διαδικασίας των εμπλουτισμών ήταν η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας (ένταση ηλιακής ακτινοβολίας χαμηλότερη από το σημείο ισοστάθμισης του φωτός). Στο μεσοδιάστημα της ημέρας ο εμπλουτισμός του θερμοκηπίου δεν ήταν εφικτός, καθώς οι θερμοκρασίες παρέμεναν σταθερά πάνω από τους 30°C. Κατά τη διάρκεια των εμπλουτισμών η συγκέντρωση του CO_2 διατηρούνταν στα 1000 ppm.

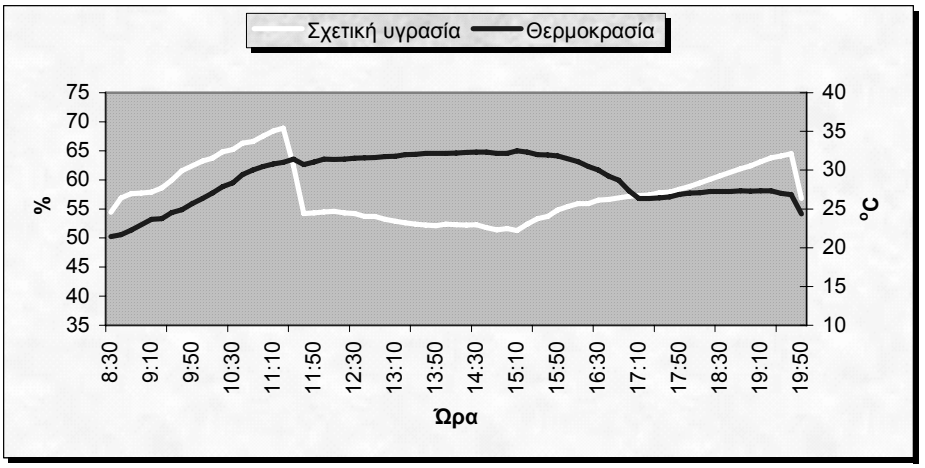
4.ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Κατά την έναρξη των εμπλουτισμών και τη διακοπή του αερισμού, η σχετική υγρασία στο εσωτερικό του θερμοκηπίου κυμαινόταν από 45-65%. Μετά την έναρξη των εμπλουτισμών η αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα, αν και περιόριζε το ρυθμό αύξησης της σχετικής υγρασίας εξαιτίας της αύξησης της χωρητικότητας του αέρα σε υδρατμούς, δεν απέτρεπε την ανοδική της πορεία.

Η αύξηση της σχετικής υγρασίας κατά τη διάρκεια των εμπλουτισμών σε όλη την πειραματική περίοδο κυμάνθηκε από 5 έως 22% ανάλογα με το στάδιο ανάπτυξης της καλλιέργειας και τη χρονική διάρκεια όπου το θερμοκήπιο παρέμενε κλειστό.

Πιο αναλυτικά, όταν τα φυτά ήταν σε μικρό στάδιο ανάπτυξης (1.5 μήνα μετά τη μεταφύτευση, αρχές με μέσα Μαΐου) ο εμπλουτισμός του θερμοκηπίου για χρονικό διάστημα έως 3.5 ώρες είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση της σχετικής υγρασίας έως 15%. Με δεδομένο ότι η σχετική υγρασία πριν από την έναρξη των εμπλουτισμών κυμαινόταν σε χαμηλά επίπεδα (45 έως 65%), η μέγιστη τιμή της σχετικής υγρασίας κατά τη διάρκεια των εμπλουτισμών δεν ανήλθε ποτέ σε υψηλότερα από τα άριστα για την ανάπτυξη των φυτών επίπεδα (75-80%). Στο σχήμα 2, παρουσιάζεται η μεταβολή της σχετικής υγρασίας στο εσωτερικό του θερμοκηπίου για μία ενδεικτική ημέρα, (2 Μαΐου) με πρωινό και απογευματινό εμπλουτισμό.

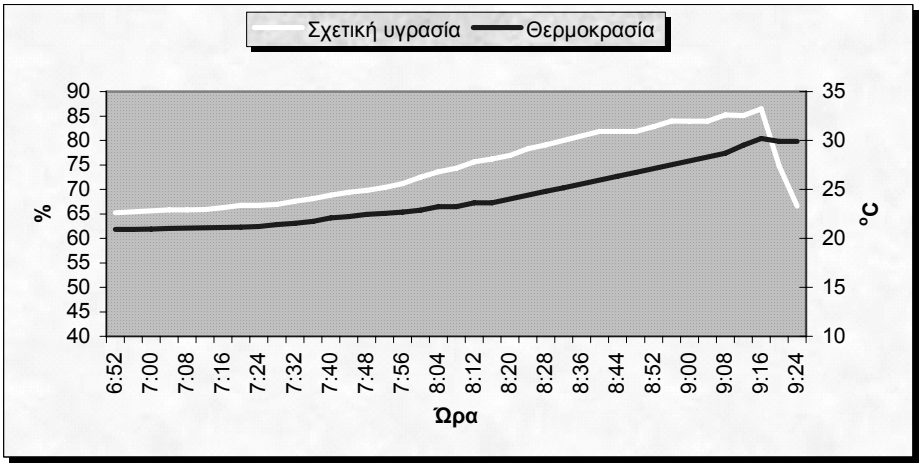
Σύμφωνα με το σχήμα 2, η σχετική υγρασία κατά τον πρωινό εμπλουτισμό αυξήθηκε από το 54.4% στο 68.9% με διάρκεια εμπλουτισμού 2 ώρες και 50 λεπτά. Στο μεσοδιάστημα της ημέρας ο εμπλουτισμός του θερμοκηπίου δεν ήταν εφικτός, καθώς η θερμοκρασία στο εσωτερικό του θερμοκηπίου ακόμα και με συνεχή αερισμό παρέμενε σταθερά πάνω από τους 30°C. Στον απογευματινό εμπλουτισμό η σχετική υγρασία αυξήθηκε από το 57.3% στο 64.5%, όταν η διάρκεια του εμπλουτισμού ήταν 2 ώρες και 30 λεπτά.



Σ

Σχήμα 2. Μεταβολή της σχετικής υγρασίας και της θερμοκρασίας με εφαρμογή πρωινού και απογευματινού εμπλουτισμού στις 2.5.04

Όταν η καλλιέργεια ήταν σε προχωρημένο στάδιο ανάπτυξης, (περίοδος του Ιονίου) η σχετική υγρασία παρουσίασε μεγαλύτερη αύξηση και κυμαινόταν από 14-22% ανάλογα με τη χρονική διάρκεια των εμπλουτισμών. Στην περίπτωση αυτή η μέγιστη τιμή της σχετικής υγρασίας κατά τη διάρκεια των εμπλουτισμών ξεπερνούσε τα άριστα επίπεδα για ένα μικρό χρονικό διάστημα (0.5 έως 1.5 ώρα), μόνο όταν η σχετική υγρασία πριν από την έναρξη του εμπλουτισμού κυμαινόταν από 60-65%. Η αύξηση ωστόσο της σχετικής υγρασίας πάνω από τα επιθυμητά επίπεδα για ένα τόσο μικρό χρονικό διάστημα δεν ευνοεί την εξάπλωση φυτοπαθολογικών ασθενειών και επηρεάζει ελαχιστότατα την ανάπτυξη των φυτών. Στο σχήμα 3, δίνεται ένα αντίστοιχο παράδειγμα πρωινού εμπλουτισμού αυτής της περιόδου.



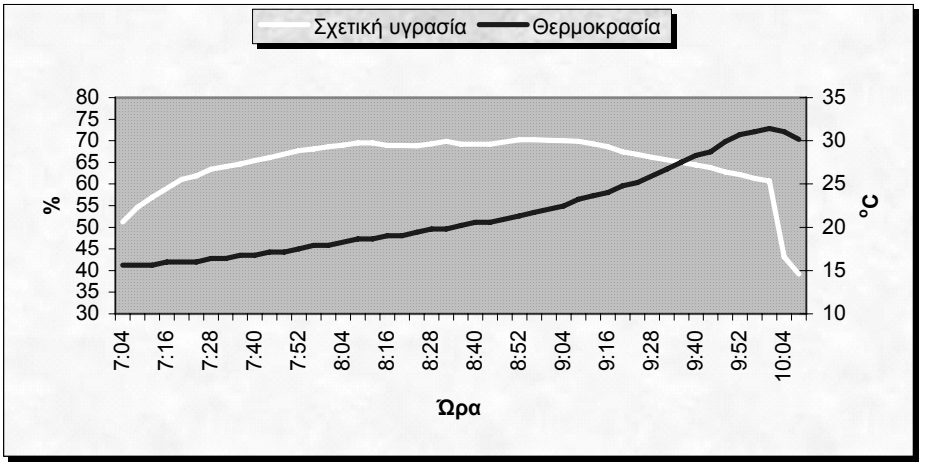
Σχήμα 3. Μεταβολή της σχετικής υγρασίας και της θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια πρωινού εμπλουτισμού στις 16.6.04. Η διάρκεια του εμπλουτισμού ανήλθε σε 2 ώρες και 24 λεπτά.

Όπως προκύπτει από το σχήμα 3 μετά από συνεχή αερισμό του θερμοκηπίου καθ' όλη τη διάρκεια της νύχτας (θερμοκρασίες υψηλότερες από 16°C), η σχετική υγρασία του αέρα του θερμοκηπίου πριν από την έναρξη του εμπλουτισμού ήταν 65.2%.

Στις 6:52 η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας ανήλθε στο σημείο ισοστάθμισης του φωτός, ο αερισμός του θερμοκηπίου σταμάτησε και ξεκίνησε ο εμπλουτισμός του θερμοκηπίου. Στις 9:16, όταν η θερμοκρασία ανήλθε στους 30.2°C και ο εμπλουτισμός σταμάτησε (αερισμός του θερμοκηπίου), η σχετική υγρασία ανήλθε στο 86.5%. Ποσοστά υγρασίας πάνω από 80% επικράτησαν για 40 λεπτά. Η συνολική αύξηση της σχετικής υγρασίας για το χρονικό διάστημα που γινόταν στο θερμοκήπιο εμπλουτισμός ήταν 21.3%.

Οι απογευματινοί εμπλουτισμοί είχαν μια συνήθη διάρκεια από έως 1.5 έως 2 ώρες. Η αύξηση της σχετικής υγρασίας κατά τη διάρκεια αυτών των διαστημάτων κυμαινόταν από 7-15%. Καθώς η συγκέντρωση των υδρατμών στο θερμοκήπιο πριν από την έναρξη του εμπλουτισμού ήταν χαμηλή λόγω αερισμού (σχετική υγρασία <55%), η σχετική υγρασία μετά τον εμπλουτισμό δεν ξεπερνούσε το 70%.

Εκτός από το στάδιο ανάπτυξης της καλλιέργειας ένας άλλος παράγοντας που επηρέαζε σε ορισμένες περιπτώσεις τη μεταβολή της σχετικής υγρασίας κατά τη διάρκεια των εμπλουτισμών ήταν η συμπύκνωση των υδρατμών στην εσωτερική επιφάνεια του υλικού κάλυψης. Η συμπύκνωση αυτή σε συνδυασμό και με την αύξηση της θερμοκρασίας (αύξηση της χωρητικότητας του αέρα σε υδρατμούς) μείωνε τη συγκέντρωση των υδρατμών στο εσωτερικό του θερμοκηπίου.. Σ' όλες τις περιπτώσεις στις οποίες παρατηρήθηκε υγροποίηση υδρατμών στην επιφάνεια του καλύμματος κατά τη διάρκεια των εμπλουτισμών η τιμή της σχετικής υγρασίας παρουσίαζε πτώση έπειτα από ανοδική πορεία και η συνολική της μεταβολή κυμάνθηκε από 5 έως 15%. Στο σχήμα 4 δίνεται ένα παράδειγμα κατά τη διάρκεια ενός πρωινού εμπλουτισμού. Ο εμπλουτισμός διήρκεσε 2 ώρες και 56 λεπτά. Η σχετική υγρασία πριν από την έναρξη του εμπλουτισμού ήταν 51.2%.



Σ

Σχήμα 4. Μεταβολή της σχετικής υγρασίας και της θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια πρωινού εμπλουτισμού στις 12.6.04., όπου παρατηρήθηκε συμπύκνωση των υδρατμών στο κάλυμμα του θερμοκηπίου

Η μέγιστη τιμή της σχετικής υγρασίας (70%) εμφανίστηκε 2 ώρες μετά από την έναρξη του εμπλουτισμού, ενώ από τη στιγμή αυτή και μετά μειώθηκε. Η μέγιστη αύξηση της σχετικής υγρασίας ήταν 18.8% και η τελική της τιμή 60.7%. Η συνολική

μεταβολή της σχετικής υγρασίας για όλη την διάρκεια του εμπλουτισμού ανήλθε στο 9.5%.

5.ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Το γενικό συμπέρασμα που προκύπτει από την έρευνα αυτή είναι ότι η σχετική υγρασία δεν μπορεί να θεωρηθεί περιοριστικός παράγοντας του εμπλουτισμού με CO_2, όταν τα χρονικά διαστήματα εφαρμογής του καθορίζονται από τη θερμοκρασία και την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας. Οι μόνες περιπτώσεις που παρατηρήθηκε ότι η σχετική υγρασία ανέρχεται πάνω από τα άριστα για την ανάπτυξη των φυτών επίπεδα του 80% ήταν κατά τη διάρκεια πρωινών εμπλουτισμών με σχετικά υψηλές θερμοκρασίες, με την καλλιέργεια να βρίσκεται σε προχωρημένο στάδιο ανάπτυξης και τη σχετική υγρασία να κυμαίνεται πριν την έναρξη των εμπλουτισμών σε επίπεδα της τάξεως του 60-65%. Με τις συνθήκες αυτές η σχετική υγρασία ξεπερνούσε το 80%, (80-87%) για ένα χρονικό διάστημα από 0.5 έως 1.5 ώρα. Ωστόσο η αύξηση της σχετικής υγρασίας πάνω από τα επιθυμητά επίπεδα για ένα τόσο μικρό χρονικό διάστημα δεν επηρεάζει αρνητικά την ανάπτυξη της καλλιέργειας και δεν μπορεί να ευνοήσει την ανάπτυξη μυκητολογικών ασθενειών.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Ντόγρας Κ. 2001. Καλλιέργεια λαχανικών στο θερμοκήπιο. Τμήμα Εκδόσεων Πανεπιστημιακό Τυπογραφείο. Θεσσαλονίκη.
2. Υπουργείο Γεωργίας. 2001. Δ/νση Αγροτικής πολιτικής & Τεκμηρίωσης, Τμήμα Εισοδηματικής Πολιτικής, Ακαθάριστη Αξία Γεωργικής Παραγωγής. Αθήνα.
3. Hanan J.J. 1998. Greenhouses. CRC Press, Boca Raton, FL.
4. Enoch, H.Z. 1984. Carbon dioxide uptake efficiency in relation to crop-intercepted solar radiation. Acta Hort. 162:137-147.
5. Hand, D.W. 1983. Pruning CO_2 costs to maximize profits. The Grower(Supplement), 89-93. Feb. 17, 1983.
6. Berry J., Bjorkman O., 1980. Photosynthetic response and adaptation to temperature in higher plants. Anna Rev, Plant Physiol. 31:491–543.
7. Ludwig, L.J. and A.C Withers. 1984. Photosynthetic responses to CO_2 in relation to leaf development in tomato. Adv. in Photosynthetic Res. 4:217-220.
8. Jiao, J., M.J. Tsujita and B. Grodzinski. 1988. Predicting growth of Samantha roses at different light, temperature and CO_2 levels based on net carbon exchange. Acta hort. 230:435-442.

(180)

Η ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΑΝΤΛΙΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΣΤΗ ΜΕΙΩΣΗ ΤΗΣ ΣΧΕΤΙΚΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΣΤΟ ΧΩΡΟ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ

Ι. Λυκοσκούφης, Γ. Μαυρογιαννόπουλος
Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα, Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής, Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών. Ιερά Οδός75, Βοτανικός, Αθήνα, Τ.Κ. 11855, e-mail: gianluks@hotmail.com

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν η διερεύνηση της δυνατότητας αφύγρανσης του αέρα του θερμοκηπίου με τη χρήση αντλίας θερμότητας αέρα-αέρα καθώς και των επιπτώσεων της στο περιβάλλον του θερμοκηπίου. Χρησιμοποιήθηκαν δύο όμοια θερμοκήπια στο ένα από οποία πραγματοποιούταν αφύγρανση. Η αφύγρανση περιόρισε την συμπύκνωση των υδρατμών στο κάλυμμα και αύξησε κατά 2 ^{o}C τη θερμοκρασία του αέρα. Η θερμοκρασία φύλλου των φυτών σε καμία περίπτωση δεν έπεσε κάτω από το σημείο δρόσου του αέρα σε αντίθεση με το θερμοκήπιο μάρτυρα όπου παρατηρήθηκε μικρότερη θερμοκρασία φύλλου από τη θερμοκρασία δρόσου.

THE USE OF HEAT PUMP AIR-AIR FOR REDUCING THE RELATIVE HUMIDITY IN GREENHOUSE

I. Lycoskoufis, G. Mavrogianopoulos
Agricultural University of Athens, Department of Natural Resources Management and Agricultural Engineering, Laboratory of Agricultural Constructions. 75 Iera Odos str., 11855 Athens, e-mail: gianluks@hotmail.com

ABSTRACT

The purpose of this study was the investigation of the use of heat pump for dehumidifying greenhouse air and also its effects in greenhouse climate. Two similar greenhouses were used, in one of these dehumidification was realized. The dehumidification had as result the restriction of condensation of water vapours on the greenhouse cover and the increase of air temperature at 2 ^{o}C. The leaf temperature of plants did not fall under the dew point of air compared to the control greenhouse where was observed lesser leaf temperature than dew point temperature of air.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η υγρασία είναι ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες του περιβάλλοντος του θερμοκηπίου. Συνήθως έχει τη τάση να είναι υψηλή εξαιτίας του υψηλού ρυθμού εξατμισοδιαπνοής, με αποτέλεσμα πολύ συχνά να παρατηρείται το φαινόμενο της επιφανειακής συμπύκνωσης υδρατμών στο χώρο του θερμοκηπίου. Όσο υψηλότερη είναι η σχετική υγρασία του αέρα, τόσο η θερμοκρασία του σημείου δρόσου είναι πλησιέστερη προς τη θερμοκρασία του αέρα σε ένα χώρο και τόσο αυξάνει η πιθανότητα (με μια μικρή μείωση της θερμοκρασίας ή αύξηση της υγρασίας του χώρου) ο αέρας να καταστεί κορεσμένος και να συμπυκνωθούν οι υδρατμοί που περιέχει. Η συμπύκνωση αρχίζει να γίνεται επάνω σε επιφάνειες του χώρου που αποκτούν χαμηλότερη θερμοκρασία από αυτή του αέρα. Για να αποφευχθεί η συμπύκνωση, θα πρέπει η θερμοκρασία του σημείου δρόσου να βρίσκεται αρκετά χαμηλότερα από αυτήν του αέρα και η θερμοκρασία των επιφανειών να είναι μεγαλύτερη από το σημείο δρόσου. Αυτό επιτυγχάνεται ή με μείωση της περιεκτικότητας του αέρα σε υδρατμούς (με εξαερισμό ή αφύγρανση) είτε με την αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα ή και με τους δύο τρόπους.

Τα μεταλλικά σκελετικά στοιχεία και το κάλυμμα του θερμοκηπίου είναι οι επιφάνειες που πρωτοεμφανίζεται συνήθως η συμπύκνωση των υδρατμών και ακολουθεί η επιφάνεια των φυτών. Τα μεταλλικά σκελετικά στοιχεία αποκτούν τη νύχτα, ταχύτερα από όλες τις άλλες επιφάνειες, χαμηλότερη θερμοκρασία από αυτή του αέρα του θερμοκηπίου, λόγω της άμεσης επαφής τους με τον ψυχρότερο εξωτερικό αέρα και της μεγαλύτερης θερμικής αγωγιμότητας που χαρακτηρίζει το υλικό τους. Η πλειοψηφία των ελληνικών θερμοκηπίων με κηπευτικά, ιδιαίτερα στη νότια Ελλάδα, είναι μη θερμαινόμενα και έχουν ως υλικό κάλυψης το πολυαιθυλένιο. Το πολυαιθυλένιο έχει την ιδιότητα να παράγεται σε μεγάλα πλάτη και να χρησιμοποιείται σε φύλλα πολύ μικρού πάχους, δημιουργεί έτσι στεγανά θερμοκήπια, με μικρές ανταλλαγές εσωτερικού-εξωτερικού αέρα. Η αυξημένη στεγανότητα των θερμοκηπίων μπορεί να μειώνει τις απώλειες ενέργειας αλλά ταυτόχρονα προκαλεί αύξηση της σχετικής υγρασίας στο εσωτερικό τους. Αυτό σε συνδυασμό με τη μεγάλη θερμοπερατότητα, λόγω του πολύ μικρού πάχους του υλικού, έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της συμπύκνωσης των υδρατμών στην εσωτερική επιφάνεια του καλύμματος, και λόγω της υδρόφοβης επιφάνειας του PE σταγόνες νερού από την οροφή πέφτουν πάνω στα φυτά και το έδαφος. Η επιφάνεια των φυτών ψύχεται επίσης γρήγορα τη νύχτα, επειδή ακτινοβολούν θερμότητα. Σε μερικές περιπτώσεις, ιδιαίτερα σε θερμοκήπια με κάλυψη από πολυαιθυλένιο, όταν επικρατεί καθαρός ουρανός τα φυτά ψύχονται ταχύτερα από τον αέρα και συμπυκνώνονται υδρατμοί πάνω σε αυτά. Βασικό λοιπόν πρόβλημα ιδιαίτερα των μη πλήρως θερμαινόμενων είναι η αδυναμία ρύθμισης της πολύ υψηλής σχετικής υγρασίας που αναπτύσσεται στο εσωτερικό τους, αφού δεν υπάρχει δυνατότητα αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα με θέρμανση.

Τα παραπάνω δημιουργούν σοβαρό πρόβλημα στις καλλιέργειες διότι ευνοούν την εμφάνιση και ανάπτυξη μυκητολογικών ασθενειών [4]. Οι παραγωγοί, προκειμένου να περιορίσουν και καταπολεμήσουν τις προσβολές, πραγματοποιούν πάρα πολλούς ψεκασμούς με ισχυρά, τις περισσότερες φορές, φυτοφάρμακα. Η αυξημένη χρήση φυτοφαρμάκων συχνά δημιουργεί ανθεκτικότητες των παθογόνων στα χρησιμοποιούμενα γεωργικά φάρμακα και έτσι με τη πάροδο του χρόνου τα καθιστά αναποτελεσματικά. Έτσι, όχι μόνο επιβαρύνεται το περιβάλλον με τοξικές ουσίες, αλλά υπολείμματα αυτών μένουν στους καρπούς και τελικά καταναλώνονται από τους ανθρώπους, ενώ παράλληλα αυξάνουν σημαντικά το κόστος παραγωγής.

Η εύρεση επομένως ενός αποτελεσματικού και οικονομικά εφικτού τρόπου μείωσης της σχετικής υγρασίας στο θερμοκήπιο είναι αναγκαία. Διάφορα συστήματα

αφύγρανσης έχουν αναπτυχθεί και δοκιμαστεί [1,2,3]. Το κύριο πρόβλημα αυτών των συστημάτων είναι η έλλειψη συγκράτησης της σχετικής υγρασίας στα επιθυμητά επίπεδα. Οι Chasserieux (1987) και οι Boulard et al. (1989) χρησιμοποίησαν αντλία θερμότητας μικρής ισχύος σε σχέση με το μέγεθος του θερμοκηπίου με αποτέλεσμα τη αδυναμία συγκράτησης της σχετικής υγρασίας στο 80%. Οι Campen και Bot (2001) χρησιμοποίησαν έναν σύστημα αντλίας θερμότητας με χαμηλή κατανάλωση ενέργειας αλλά και μικρής ικανότητας αφύγρανσης. Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η διερεύνηση και η ανάπτυξη ενός ικανού συστήματος μείωσης της σχετικής υγρασίας του αέρα του θερμοκηπίου και η μελέτη των επιπτώσεων της αφύγρανσης στο περιβάλλον του θερμοκηπίου.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Το πείραμα διενεργήθηκε σε δύο ίδια τοξωτά θερμοκήπια, 63 m^2 το καθένα, με κάλυμμα πολυαιθυλενίου, του εργαστηρίου Γεωργικών Κατασκευών του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών, στα οποία αναπτύχθηκε καλλιέργεια αγγουριάς από τον Οκτώβριο του 2006 έως τον Απρίλιο του 2007 (δηλαδή κατά τη διάρκεια της ψυχρής περιόδου του έτους). Τα αποτελέσματα στη παρούσα εργασία αφορούν το χρονικό διάστημα από τις 27 Ιανουαρίου έως 5 Φεβρουαρίου. Τα δύο θερμοκήπια δεν ήταν πλήρως θερμαινόμενα αλλά, για την προστασία των φυτών από τις πολύ χαμηλές θερμοκρασίες, η θερμοκρασία στο εσωτερικό τους δεν αφέθηκε να πέσει κάτω από στους 8 ^oC, με δύο όμοια συνδεδεμένα αερόθερμα που λειτουργούσαν ταυτόχρονα. Το ένα θερμοκήπιο χρησιμοποιήθηκε για να εφαρμοστεί η αφύγρανση του χώρου, ενώ το άλλο χρησιμοποιήθηκε ως μάρτυρας η υγρασία του οποίου ήταν ανεξέλκτη.

Για την επίτευξη της μείωσης της σχετικής υγρασίας του αέρα του θερμοκηπίου χρησιμοποιήθηκε αντλία θερμότητας αέρα-αέρα (με ονομαστική ισχύ συμπιεστή 1.6 kW). Κατά τη διάρκεια της νύχτας (κλειστά παράθυρα) όταν η σχετική υγρασία στο εσωτερικό του θερμοκηπίου περνούσε το όριο το 80% άρχιζε η λειτουργία της αντλίας θερμότητας και ο εξατμιστής (38cm*67cm) της αντλίας συμπύκνωνε την υγρασία του αέρα και έτσι μειωνόταν η σχετική υγρασία, ενώ η αισθητή και η λανθάνουσα θερμότητα αποδιδόταν πάλι στο χώρο του θερμοκηπίου μέσω του συμπυκνωτή (44cm*40cm) της αντλίας.

Η θερμοκρασία στο χώρο των δύο θερμοκηπίων και εξωτερικού περιβάλλοντος μετρούνταν με θερμοζεύγη χαλκού-κονσταντάνης (0,5 mm), τα οποία είχαν τοποθετηθεί μέσα σε αεριζόμενο κιτίο στο κέντρο του κάθε θερμοκηπίου και σε ύψος 1,5 m από το έδαφος. Στο ίδιο κιτίο είχαν τοποθετηθεί και αισθητήρια μέτρησης της σχετικής υγρασίας (Thermometriks, NA 1015). Για τη μέτρηση της θερμοκρασίας του καλύμματος τοποθετήθηκαν στην εσωτερική του επιφάνεια και σε ύψος 2 m από το έδαφος θερμοζεύγη χαλκού-κονσταντάνης (0,1 mm), ίδια θερμοζεύγη χρησιμοποιήθηκαν και για τη μέτρηση της θερμοκρασίας των φύλλων, όπου τοποθετήθηκαν στην κάτω επιφάνεια τους.

Κάθε λεπτό καταγράφονταν οι τιμές της σχετικής υγρασίας και θερμοκρασίας στο εσωτερικό των θερμοκηπίων καθώς και αυτές του εξωτερικού αέρα, η θερμοκρασία της εσωτερικής πλευράς του καλύμματος, η εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία, η ταχύτητα και η κατεύθυνση του ανέμου έξω από το θερμοκήπιο. Κάθε πρωί καταγραφόταν η ποσότητα των συμπυκνωμένων υδρατμών στην εσωτερική πλευρά του καλύμματος κατά τη διάρκεια της νύχτας με τη λήψη τεσσάρων δειγμάτων, δύο σε κάθε πλευρά του θερμοκηπίου, με τη χρησιμοποίηση απορροφητικού χαρτιού συγκεκριμένων διαστάσεων για τη συλλογή του συμπυκνωμένου νερού στο κάλυμμα. Για την αποφυγή της κατακρήμνισης ποσότητας συμπυκνωμένου νερού από τις θέσεις δειγματοληψίας, οι θέσεις δειγματοληψίας προστατεύονταν με οριζόντιους πήχεις σιλικόνης. Στο

θερμοκήπιο που εφαρμοζόταν αφύγρανση καταγράφονταν η ποσότητα του αφαιρούμενου νερού και η διάρκεια λειτουργίας της αφύγρανσης, καθώς και η κατανάλωση ενέργειας για την αφύγρανση.

Από τις ληφθείσες μετρήσεις θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας υπολογίστηκε το σημείο δρόσου του αέρα από την εξίσωση:

$$T_d = \frac{237.3\left(\frac{\ln(RH/100)}{17.27}+\frac{T}{237.3+T}\right)}{1-\left(\frac{\ln(RH/100)}{17.27}+\frac{T}{237.3+T}\right)}$$

Το νερό που αφαιρείται από το έδαφος του θερμοκηπίου με την εξατμισοδιαπνοή E_{ev} όταν τα παράθυρα είναι κλειστά, συμπυκνώνεται κυρίως στο κάλυμμα του θερμοκηπίου E_c, διαφεύγει στο εξωτερικό περιβάλλον E_{inf}, και αφαιρείται με αφύγρανση από αντλία θερμότητας E_{hp}:

$$E_{ev} = E_c + E_{\inf} + E_{hp}$$

Η συμπύκνωση υδρατμών στο κάλυμμα εξαρτάται από τη διαφορά της συγκέντρωσης των υδρατμών στο αέρα και της συγκέντρωσης των υδρατμών στο κορεσμό στη θερμοκρασία του καλύμματος:

$$E_{con} = g_{con}(x_a - x_{cl}) \qquad (\text{g s}^{-1})$$

όπου x_{cl} είναι η συγκέντρωση των υδρατμών στο κορεσμό στη θερμοκρασία του καλύμματος και g_{con} ο συντελεστής μεταφοράς μάζας. Γνωρίζοντας την συνολική συμπύκνωση υδρατμών στο κάλυμμα και τη διαφορά συγκέντρωσης υδρατμών υπολογίστηκε ο μέσος συντελεστής μεταφοράς μάζας υδρατμών στο κάλυμμα του θερμοκηπίου.

Από τη ταχύτητα του αέρα έξω από το θερμοκήπιο και τη διαφορά θερμοκρασίας εσωτερικού-εξωτερικού αέρα υπολογίστηκε ο ρυθμός εξαερισμού των θερμοκηπίων, με κλειστά παράθυρα, από τη σχέση (Jolliet, 1994):

$$q = A_f(0{,}0484w^2 + 0{,}0256(T_i - T_o)) \qquad (\text{m}^3/\text{sec})$$

με

$$A_f = 10^{-3} A_c \qquad (\text{m}^2)$$

όπου A_c είναι η επιφάνεια του καλύμματος, w η ταχύτητα του εξωτερικού αέρα (m/s), T_i η θερμοκρασία του αέρα του θερμοκηπίου, T_o η θερμοκρασία του εξωτερικού αέρα.

Από το ρυθμό εξαερισμού και τη διαφορά της απόλυτης υγρασίας εσωτερικού-εξωτερικού αέρα υπολογίστηκαν οι απώλειες υδρατμών των θερμοκηπίων μέσω διαφυγών από την εξίσωση:

$$E_{\inf} = q(x_a - x_o) \qquad (\text{g s}^{-1})$$

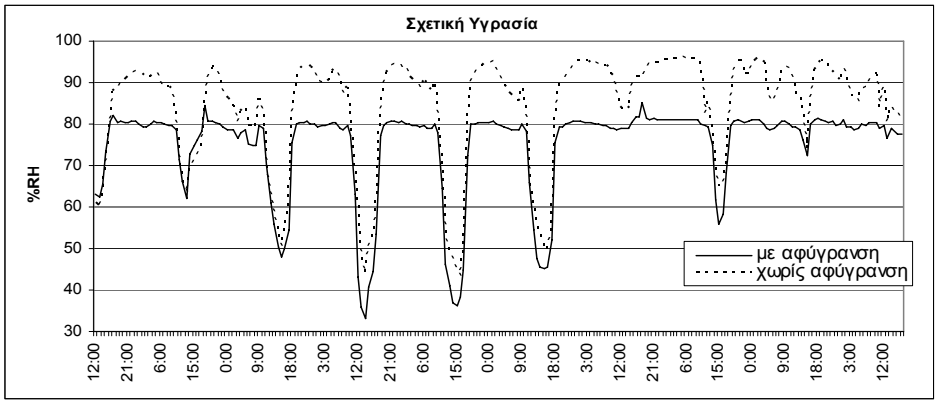
όπου x_α και x_o είναι η απόλυτη υγρασία (g m^{-3}) του εσωτερικού και του εξωτερικού αέρα αντίστοιχα.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

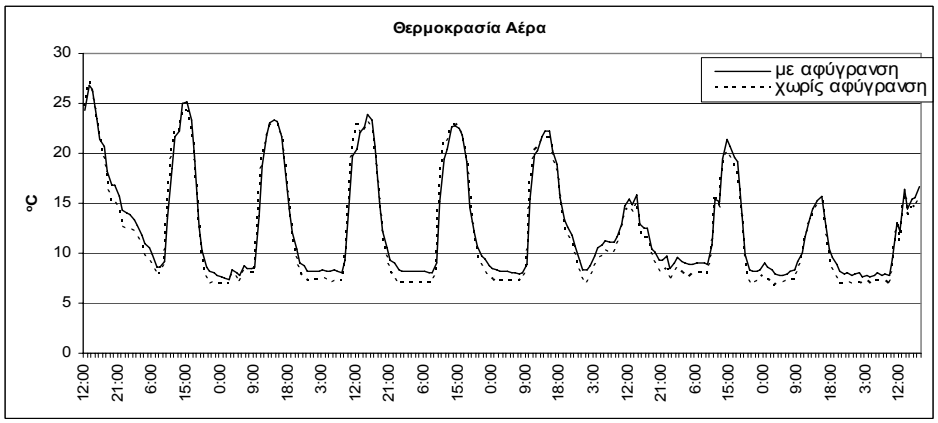
Η χρήση της αντλίας θερμότητας για την αφύγρανση του αέρα του θερμοκηπίου αποδείχθηκε ικανή για τη διατήρηση της σχετικής υγρασίας στην ανώτερη καθορισμένη τιμή του 80%. Ενώ, στο θερμοκήπιο μάρτυρα έφθανε μέχρι και 96% (Σχήμα 1).

Η διατήρηση της σχετικής υγρασίας στο 80% με τη χρήση της αντλίας θερμότητας είχε ως αποτέλεσμα η θερμοκρασία του χώρου του θερμοκηπίου να είναι υψηλότερη μέχρι και κατά 2 ^{o}C συγκριτικά με αυτή του θερμοκηπίου χωρίς αφύγρανση, ενώ η μέση

διαφορά θερμοκρασίας των δύο θερμοκηπίων κατά τη διάρκεια της νύχτας ήταν 0,9 °C (Σχήμα 2).



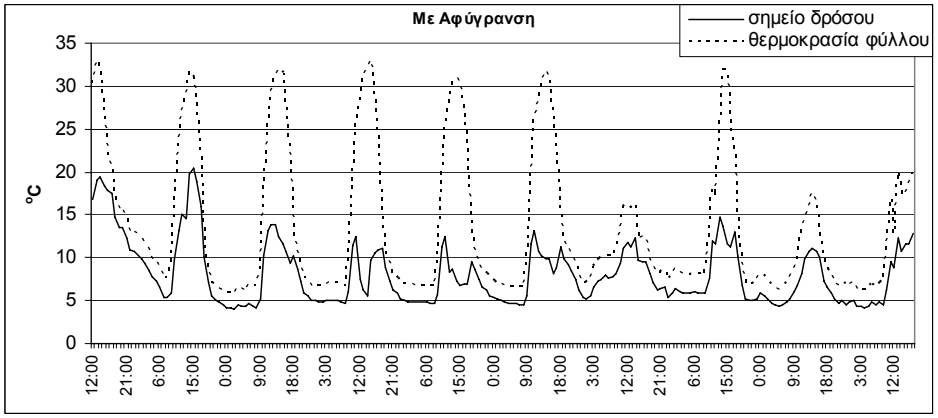
Σχήμα 1. Η σχετική υγρασία στο θερμοκήπιο, με και χωρίς αφύγρανση.



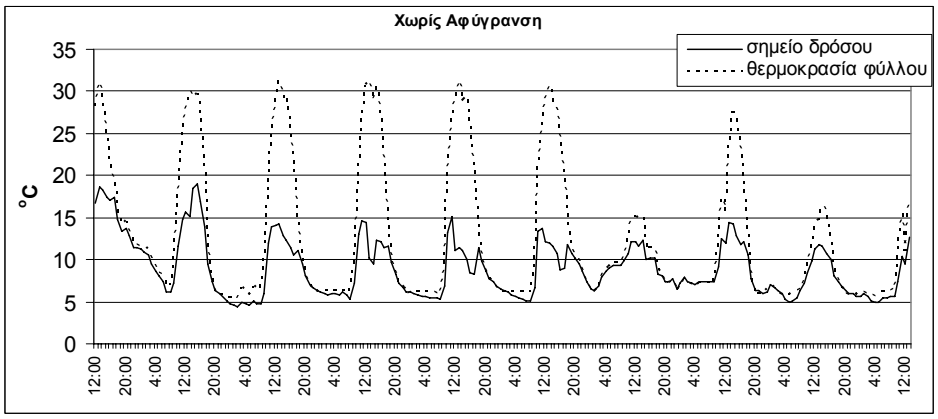
Σχήμα 2. Η θερμοκρασία του αέρα στο θερμοκήπιο, με και χωρίς αφύγρανση.

Στο θερμοκήπιο, στο οποίο λειτουργούσε η αφύγρανση, η θερμοκρασία των φύλλων των φυτών ήταν πάντα μεγαλύτερη από αυτή του σημείου δρόσου του αέρα ($T_l - T_d \geq 1{,}36\ ^oC$) γεγονός που αποκλείει την συμπύκνωση υδρατμών πάνω στα φυτά (Σχήμα 3).

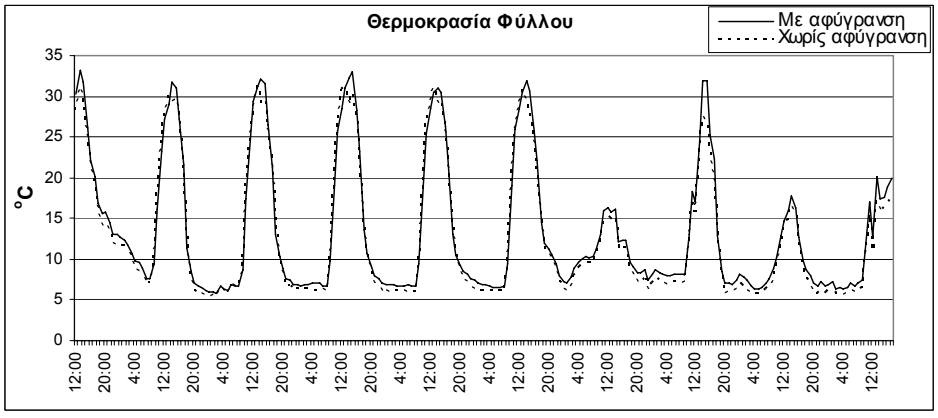
Αντίθετα, στο θερμοκήπιο χωρίς αφύγρανση η θερμοκρασία των φύλλων των φυτών τη νύχτα έπεφτε στα επίπεδα του σημείου δρόσου και κάτω από αυτά ($T_l - T_d \geq -0{,}4\ ^oC$) (Σχήμα 4). Η μεγαλύτερη διαφορά θερμοκρασίας ανάμεσα στα φύλλα των φυτών και στο σημείο δρόσου του αέρα, που παρατηρήθηκε στο θερμοκήπιο με την αφύγρανση συγκριτικά με αυτή στο θερμοκήπιο χωρίς αφύγρανση οφείλεται τόσο στη μείωση της συγκέντρωσης των υδρατμών του αέρα στο θερμοκήπιο με την αντλία θερμότητας, όσο και στη υψηλότερη θερμοκρασία του χώρου στο θερμοκήπιο που λειτουργούσε η αφύγρανση (Σχήμα 5).



Σχήμα 3. Η πορεία της θερμοκρασίας του φύλλου στο θερμοκήπιο με αφύγρανση συγκριτικά με τη θερμοκρασία του σημείου δρόσου του αέρα.



Σχήμα 4. Η πορεία της θερμοκρασίας του φύλλου στο θερμοκήπιο χωρίς αφύγρανση συγκριτικά με τη θερμοκρασία του σημείου δρόσου του αέρα.



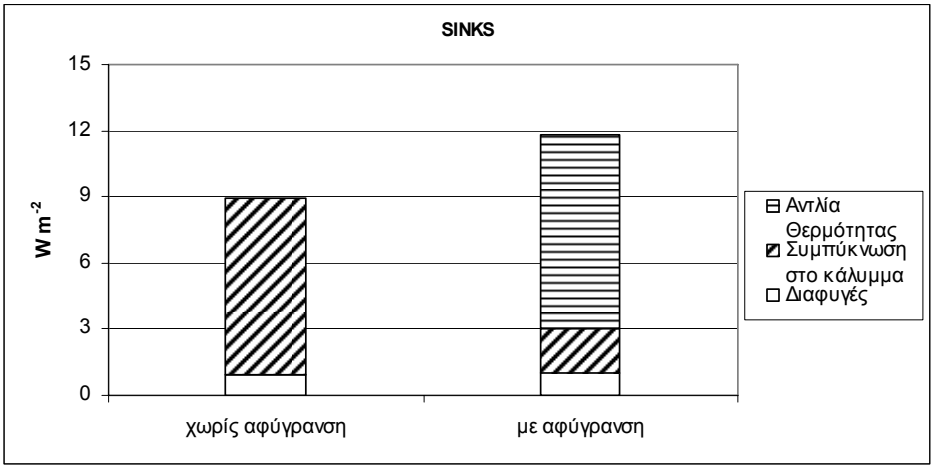
Σχήμα 5. Η πορεία της θερμοκρασίας του φύλλων των φυτών στο θερμοκήπιο με ή χωρίς αφύγρανση.

Ο μέσος συντελεστής μεταφοράς μάζας υδρατμών κατά τη διάρκεια της νύχτας εσωτερική επιφάνεια του καλύμματος και των δύο θερμοκηπίων βρέθηκε να είναι ίσος με 2,39 10^{-3} m s^{-1}, με r^2= 0,91.

$$E_{con} = 2{,}39 \times 10^{-3} (x_a - x_{cl}) \qquad (\text{g m}^{-2}\ \text{s}^{-1})$$

Η τιμή αυτή του συντελεστή μεταφοράς μάζας υδρατμών βρίσκεται μέσα στη περιοχή που προσδιόρισαν οι Stanghellini et al. (1995), από 1,8 10^{-3} έως 3,6 10^{-3}.

Στο Σχήμα 6 εμφανίζεται ο μέσος καταμερισμός των απωλειών νερού, για το διάστημα από 27 Ιανουαρίου έως 5 Φεβρουαρίου, με και χωρίς τη λειτουργία της αφύγρανσης με την αντλία θερμότητας.



Σχήμα 6. Η κατανομή των απωλειών υδρατμών του θερμοκηπίου με και χωρίς αφύγρανση.

Η διατήρηση της σχετικής υγρασίας στο 80% με την αντλία θερμότητας δημιούργησε ένα μεγαλύτερο έλλειμμα κορεσμού το οποίο προκάλεσε μια αύξηση της τάξεως του 28% της εξατμισοδιαπνοής και του αθροίσματος της συμπύκνωσης στον εξατμιστή της αντλίας, της συμπύκνωσης στο κάλυμμα και των διαφυγών στον εξωτερικό χώρο. Από το ραβδόγραμμα (Σχήμα 6) φαίνεται ότι η δράση της αντλίας θερμότητας έχει σημαντικές επιπτώσεις στη μείωση της συμπύκνωσης των υδρατμών στην εσωτερική επιφάνεια του καλύμματος του θερμοκηπίου, η οποία μειώνεται από 90%, των συνολικών απωλειών νερού, στο 17%. Οι απώλειες μέσω διαφυγών με τη χρήση της αντλίας θερμότητας μειώνονται ελαφρώς, προφανώς λόγω της χαμηλότερης της συγκέντρωσης υδρατμών του αέρα. Τα αποτελέσματα αυτά επιβεβαιώνονται από προηγούμενες εργασίες όπως των Boulard et al. (1989) οι οποίοι βρήκαν σημαντική μείωση της συμπύκνωσης στο κάλυμμα, και υπολόγισαν ότι απαιτούνται 8,70 W m^{-2} για την αφύγρανση του αέρα του θερμοκηπίου κατά τη διάρκεια της νύχτας.

Για το χρονικό διάστημα που αναφέρονται τα αποτελέσματα του πειράματος η μέση απαιτούμενη ισχύς μιας αντλίας θερμότητας για τη διατήρηση της σχετικής υγρασίας του αέρα του θερμοκηπίου είναι 8,78 W m^{-2} ή 8,78 kW ανά στρέμμα. Αν θεωρήσουμε ότι η ανάγκη για αφύγρανση εντοπίζεται κατά τη διάρκεια της ψυχρής περιόδου του έτους, για ένα διάστημα 120 ημερών και για 15 ώρες λειτουργίας το 24ωρο, απαιτούνται 15804 kWh (ή 1600 λίτρα πετρελαίου) για κάθε στρέμμα θερμοκηπίου. Με τρέχουσα τιμή του αγροτικού ηλεκτρικού ρεύματος 0,042€/ kWh, απαιτείται ένα κόστος της τάξεως των 663,00€ περίπου.

Συμπερασματικά, μπορούμε να πούμε ότι το κόστος λειτουργίας της αφύγρανσης με αντλία θερμότητας δεν απαγορευτικό, ειδικά αν υπολογίσουμε τη μείωση του κόστους από τη χρήση των γεωργικών φαρμάκων και την αύξηση των εσόδων από τη καλύτερη απόδοση των φυτών (δεδομένα που δεν παρουσιάζονται).

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Boulard, T., Baille, A., Lagier, J., Mermier, M. and Vanderschmitt E. 1989. Water vapour transfer in a plastic house equipped with a dehumidification heat pump. *Journal of Agricultural Engineering Research,* 44: 191-204.
2. Campen, J.B. and Bot, G.P.A. 2001. Design of a low-energy dehumidifying system for greenhouses. *Journal of Agricultural Engineering Research,* 78(1): 65-73.
3. Chasseriaux, G. 1987. Heat pumps for reducing humidity in plastics greenhouses. *Plasticulture,* 73: 29-40.
4. Hand, D.W. 1988. Effects of atmospheric humidity on greenhouse crops. Acta Horticulturae, 229: 143-158.
5. Jolliet, O. 1994. Hortitrans, a model for predicting and optimizing humidity and transpiration in greenhouses. *Journal of Agricultural Engineering Research* 57: 23-37.
6. Stanghellini, C. and De Jong, T. 1995. A model of humidity and its applications in a greenhouse. *Agricultural and Forest Meteorology*, 76: 129-148.

(194)

ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΗΣ ΡΟΗΣ ΑΝΕΜΟΥ ΓΥΡΩ ΑΠΟ ΥΠΕΡΥΨΩΜΕΝΟ ΠΕΡΑΤΟ ΠΕΤΑΣΜΑ

Α. Γιαννούλης, Α. Μυστριώτης και Δ. Μπριασούλης
Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών,
Ιερά Οδός 75, Τ.Κ. 11855, e-mail: sosat1012@yahoo.com

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι η μελέτη των φορτίων τα οποία υφίσταται ένα υπερυψωμένο πέτασμα καλυμμένο με δίχτυ, όταν βρίσκεται τοποθετημένο κάθετα στη διεύθυνση που κινείται ο άνεμος. Μετρήσεις που έχουν γίνει πειραματικά για το συγκεκριμένο πέτασμα είτε με κάλυψη διχτυού, είτε με αυτή αδιαπέραστου πλαστικού φύλλου (film) χρησιμοποιούνται για σύγκριση με αποτελέσματα που προέκυψαν από την αριθμητική προσομοίωση του μοντέλου. Και στις δυο περιπτώσεις παρατηρείται πως τα πειραματικά και τα υπολογιστικά αποτελέσματα βρίσκονται σε συμφωνία και για τα δύο υλικά κάλυψης του πετάσματος. Οι αριθμητικές προσομοιώσεις παρέχουν μια λεπτομερή εικόνα της ροής του ανέμου γύρω από το πέτασμα και επιτρέπουν τον υπολογισμό της μείωσης της ταχύτητας του αέρα στην υπήνεμη πλευρά.

3D NUMERICAL SIMULATION OF WIND FLOW AROUND AN ELEVATED PERMEABLE PANEL

A. Giannoulis, A. Mistriotis and D. Briassoulis
Agricultural University of Athens, Department of Agricultural Engineering,
75 Iera Odos Street, 11855 Athens, Greece, e-mail: sosat1012@yahoo.com

ABSTRACT

The purpose of this paper is the study of the wind loads on an elevated panel covered by net, when located normal to the direction of the wind. Data taken from a full scale experiment for the panel covered with net or a film are used to validate numerical results. for both covering materials, film and nets, numerical and full scale data show good agreement. The numerical simulations provide detailed information with respect to the air flow around the structure and allow for the estimation of the wind field intensity at the leeward side of the panel.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η χρήση πλαστικών διχτυών στη γεωργία επεκτείνεται σταθερά τα τελευταία χρόνια. Χρησιμοποιούνται για σκίαση, αντιχαλαζιακή προστασία, ή προστασία κατά εντόμων, καθώς και για τη κατασκευή ανεμοφρακτών. Παρ' όλα αυτά ο σχεδιασμός των κατασκευών που υποστηρίζουν γεωργικά δίχτυα γίνεται με εμπειρικό τρόπο επειδή δεν υπάρχουν αρκετά στοιχεία για τα φορτία ανέμου που ασκούνται σε τέτοιες κατασκευές.

Στη βιβλιογραφία υπάρχει εκτενής μελέτη των μη περατών ανεμοφρακτών που βρίσκονται τοποθετημένοι στο έδαφος [1-7]. Η συνολική πίεση που ασκεί ο άνεμος στα κεντρικά τμήματα ενός ανεμοφράκτη είναι γενικά σταθερή καθ' όλο το μήκος με εξαίρεση τα ελεύθερα άκρα. Για το λόγο αυτό η ροή του ανέμου και τα αντίστοιχα φορτία στα άκρα έχουν μελετηθεί εκτενέστερα. Πολλές έρευνες έχουν γίνει επίσης για τη διαμόρφωση της ροής γύρω από περατά εμπόδια, όπως περατοί ανεμοφράκτες. Κυρίως και πάλι η έρευνα έχει επικεντρωθεί σε ανεμοφράκτες προσαρμοσμένους στο έδαφος. Βασικό αντικείμενο μελέτης στη περίπτωση αυτή είναι η μείωση της ταχύτητας του ανέμου στην υπήνεμη πλευρά.

Μελετήθηκε επίσης στις δύο διαστάσεις το πώς επηρεάζεται ο στρόβιλος που εμφανίζεται στο τμήμα ακριβώς πίσω από τον πορώδη ανεμοφράκτη [8]. Βρέθηκε ότι η αύξηση της περατότητας μειώνει το μέγεθος του στροβίλου. Η περιοχή αποκόλλησης της ροής πάνω από τον ανεμοφράκτη παρατηρήθηκε να είναι ανάλογη του ύψους h του ανεμοφράκτη και ότι η αύξηση της περατότητας επιμηκύνει τη γραμμή αποκόλλησης. Παρατηρήθηκε επίσης πως για περατότητα (= περατή επιφάνεια ανεμοφράκτη / συνολική επιφάνεια ανεμοφράκτη) κοντά στην τιμή 30-50%, ο στροβιλισμός εξαφανίζεται πλήρως [8,9,11,12].

Πολλοί ερευνητές ασχολήθηκαν με τη μορφή της ροής στην υπήνεμη πλευρά του πορώδους ανεμοφράκτη και κυρίως με το πώς η ύπαρξη του ανεμοφράκτη επηρεάζει διάφορες ποσότητες που σχετίζονται άμεσα με τα τυρβώδη φαινόμενα. Πειραματικά αποτελέσματα δείξανε ότι η ένταση της τυρβώδους ροής μειώνεται καθώς η περατότητα αυξάνεται, ενώ το ίδιο φαίνεται να συμβαίνει και για τις τάσεις Reynolds και την τυρβώδη κινητική ενέργεια [10,11].

Η αλήθεια είναι πως δεν έχουν γίνει εκτενείς μελέτες για τη χρήση διχτυών αλλά ούτε και για υπερυψωμένους ανεμοφράκτες. Η δημοσίευση [13] δίνει μια γενική εικόνα για μια υπερυψωμένη πινακίδα (ανεμοφράκτη). Η μελέτη έγινε σε ανεμοσήραγγα. Παρουσιάζει τις μεταβολές στα επιβαλλόμενα από τον άνεμο φορτία για διάφορες τιμές των διαστάσεων της πινακίδας, της περατότητας αλλά και της διεύθυνσης ανέμου.

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται τρισδιάστατα αριθμητικά αποτελέσματα για ένα υπερυψωμένο πέτασμα καλυμμένο με δίχτυ κάποιας περατότητας και τα αποτελέσματα συγκρίνονται με αντίστοιχα πειραματικά αποτελέσματα [14]. Μελετούνται οι πλευρικοί στρόβιλοι και η επίδραση τους στη συνολική πίεση στο πέτασμα καθώς και η μεταβολή της ταχύτητας εξαιτίας του πετάσματος στην υπήνεμη πλευρά του. Οι ίδιοι υπολογισμοί γίνονται και για αδιαπέραστο πέτασμα ίδιων διαστάσεων έτσι ώστε να γίνει εμφανής η μείωση των φορτίων πάνω στη διάταξη, η εξομάλυνση των πλευρικών στροβίλων αλλά και του πεδίου ροής συνολικά.

2. ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ

2.1. Αριθμητική προσομοίωση

Η αριθμητική προσομοίωση πραγματοποιήθηκε υπολογιστικά με τη βοήθεια του πακέτου ANSYS 10.0 και κατ' επέκταση με τη βοήθεια της μεθόδου των πεπερασμένων στοιχείων που το υπολογιστικό πακέτο αυτό χρησιμοποιεί. Δημιουργήθηκε ένα μοντέλο ανεμοφράκτη τριών διαστάσεων και θεωρήθηκε πως η διάταξη αυτή βρίσκεται σε μια

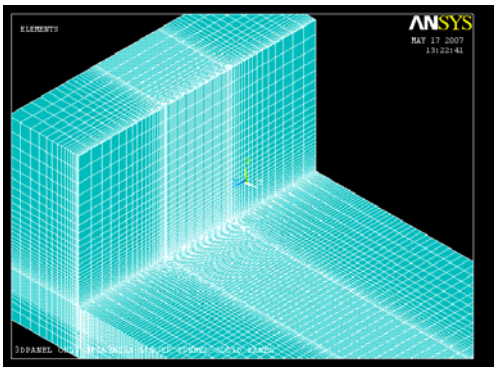
τρισδιάστατη επίσης ορθογώνια ανεμοσήραγγα. Το πλέγμα το οποίο χρησιμοποιήθηκε για να προσομοιωθεί η διάταξη στο σύνολό της (ανεμοσήραγγα και ανεμοφράκτης) αποτελείται από ένα συγκεκριμένο αριθμό στοιχείων (elements) για κάθε περίπτωση που μελετήθηκε, δηλαδή τους δυο περατούς, με κάλυψη διχτυού, ανεμοφράκτες και τον ένα με κάλυψη αδιαπέραστου υλικού (film), ο οποίος φαίνεται στον *Πίνακα 1*.

Οι διαστάσεις της ανεμοσύραγγας ήταν *42μ, 20μ* και *27μ* κατά τους *x,y* και *z* άξονες αντίστοιχα ή ισοδύναμα *21h, 10h* και *13,5h* κατά την παραπάνω αντιστοιχία, όπου *h* θεωρούμε το ύψος του ανεμοφράκτη, *h = 2m*

Τα στοιχεία τα οποία αποτελούσαν το πλέγμα στην αριθμητική προσομοίωση ήταν ορθογώνια παραλληλεπίπεδα (εξάεδρα). Μια απεικόνιση της δομής του πλέγματος της ανεμοσήραγγας κοντά στον ανεμοφράκτη παρουσιάζεται στην *Εικόνα 1*.

Πίνακας 1. Ο αριθμός των στοιχείων του πλέγματος στις διάφορες περιπτώσεις κάλυψης του ανεμοφράκτη.

ΚΑΛΥΨΗ ΑΝΕΜΟΦΡΑΚΤΗ	FILM	ΠΕΡΑΤΟ ΥΛΙΚΟ (WINDBREAK TAPE)	ΠΕΡΑΤΟ ΥΛΙΚΟ (SCIROCCO MD)
ΑΡΙΘΜΟΣ ELEMENTS	351.216	354.240	495.000



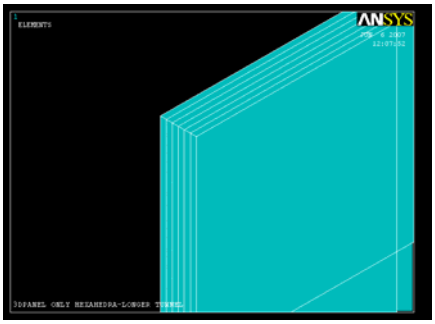
Εικόνα 2. Τομή του πλέγματος της ανεμοσήραγγας κοντά στον ανεμοφράκτη.

Είναι εύκολο να παρατηρήσει κανείς τη δομή με την οποία κατασκευάστηκε το πλέγμα. Το τμήμα που παρουσιάζεται στην *Εικόνα 1* είναι μια τομή ακριβώς πάνω από το πάνω άκρο του ανεμοφράκτη. Παρόμοια μορφή έχουμε δώσει στο πλέγμα και από το κάτω άκρο του. Είναι γνωστό πως τα πιο έντονα φαινόμενα, και κατά κύριο λόγο τα τυρβώδη, εμφανίζονται γύρω από τον ανεμοφράκτη, στην υπήνεμη και προσήνεμη πλευρά του. Για το λόγο αυτό, το πλέγμα γίνεται λεπτομερέστερο, δηλαδή αποτελείται από μεγαλύτερο αριθμό στοιχείων καθώς πλησιάζουμε τον ανεμοφράκτη.

Παρακάτω παρουσιάζεται μια εικόνα του πλέγματος πάνω και στο εσωτερικό του πετάσματος σε μεγέθυνση ώστε να καταστούν διακριτά το στοιχεία κατά μήκος του x άξονα (πάχος ανεμοφράκτη, *Εικόνα 2*).

Το πλέγμα πάνω στις *y-z* επιφάνειες του ανεμοφράκτη (η μπροστά και πίσω όψη του ανεμοφράκτη) αποτελείται από ομοιόμορφα κατανεμημένα στοιχεία τα οποία έχουν μέγεθος *0,1667μ* κατά τις δυο διαστάσεις ή *0,08335h* όπου *h* είναι το ύψος του ανεμοφράκτη. Η σωστή όμως προσομοίωση του περατού υλικού απαιτεί εντονότερη πύκνωση των στοιχείων κατά την διάσταση που αντιπροσωπεύει το πάχος του ανεμοφράκτη. Για τον λόγο αυτό τα στοιχεία κατά την *x* διάσταση έχουν μέγεθος *0,005μ*

ή *0,0025h*. Οι διαστάσεις αυτές του πλέγματος απέφεραν σημαντική συμφωνία των πειραματικών και υπολογιστικών δεδομένων.



Εικόνα 2. Μεγέθυνση του πλέγματος στο εσωτερικού του πορώδους πετάσματος.

2.2. Μοντελοποίηση της τύρβης

Το μοντέλο τύρβης το οποίο χρησιμοποιήθηκε στην αριθμητική προσομοίωση είναι το κλασσικό μοντέλο *k-e*. Όπως είναι γνωστό το μοντέλο αυτό υπερεκτιμά σε πολλές περιπτώσεις τις τιμές της κινητικής ενέργειας της τύρβης, όπως σε ροές που προσπίπτουν σε εμπόδια και αντιμετωπίζει, συγκεκριμένα, πρόβλημα στα σημεία όπου υπάρχουν απότομες μεταβολές στην κλίση της ταχύτητας. Το φαινόμενο αυτό προκαλείται από τον τρόπο με τον οποίο το ίδιο το μοντέλο αντιμετωπίζει τη μετατροπή της κινητικής ενέργειας της τύρβης σε θερμότητα.

Παρόλα αυτά το συγκεκριμένο μοντέλο που χρησιμοποιείται συχνά με πολύ θετικά αποτελέσματα ενώ σε σύγκριση με άλλα μοντέλα τύρβης υπερτερεί στην εξοικονόμηση υπολογιστικού χρόνου. Η υιοθέτηση του μοντέλου αυτού απέφερε πολύ καλά αποτελέσματα.

2.3. Οριακές Συνθήκες

Στην είσοδο έχει ορισθεί ένα προφίλ ταχύτητας για το οποίο η ταχύτητα αυξάνεται λογαριθμικά με το ύψος από την επιφάνεια του εδάφους. Στο κάτω επίπεδο της ανεμοσήραγγας έχουν τεθεί οι συνθήκες μη εισχώρησης και μη ολίσθησης, δηλαδή οι ταχύτητες παράλληλα και κάθετα με το επίπεδο αυτό θεωρούνται ίσες με την τιμή του μηδενός. Στην περίπτωση του μη περατού υλικού ισχύει ακριβώς η παραπάνω συνθήκη ενώ δεν ισχύει στην περίπτωση των διχτυών. Στην έξοδο της ανεμοσήραγγας ισχύει η κλασσική συνθήκη της τιμής της πίεσης ίσης με το μηδέν (εκτόνωση του ρευστού από τη σήραγγα σε μεγαλύτερο χώρο). Τέλος στο άνω επίπεδο της ανεμοσήραγγας η κάθετη σε αυτό ταχύτητα θεωρείται ίση με το μηδέν.

2.4. Προσομοίωση των διχτυών ως περατά υλικά

Η χρήση του κάθε διχτυού προσομοιώθηκε μέσα από το υπολογιστικό πακέτο κάνοντας χρήση της εξίσωσης του Forchheimer [16].

$$\Delta p/\Delta x = \alpha V + \beta V^2$$

Η ανωτέρω σχέση μας δίνει τη μεταβολή της πίεσης ενός ρευστού καθώς διέρχεται από ένα πορώδες υλικό πάχους Δx. Το V αντιστοιχεί στην ταχύτητα του ρευστού, ενώ οι δύο συντελεστές α, β είναι αυτοί που χαρακτηρίζουν το πορώδες υλικό. Συγκεκριμένα τα α, β δίνονται από τις σχέσεις $\alpha = \mu / K$ και $\beta = C.\rho$, όπου μ είναι το ιξώδες του ρευστού, K η περατότητα του υλικού, ρ η πυκνότητα του ρευστού και C είναι ένας συντελεστής που χαρακτηρίζει έντονα το πορώδες υλικό και ονομάζεται συντελεστής μορφής (form coefficient). Συγκεκριμένα ο συντελεστής β που εμπεριέχει τον

συντελεστή μορφής είναι και αυτός που προσδίδει στην ουσία τα χαρακτηριστικά όσο αφορά την αεροδυναμική συμπεριφορά του πορώδους υλικού. Όπως έχει παρατηρηθεί η περατότητα δεν μπορεί να χαρακτηρίσει πλήρως τη συμπεριφορά ενός πορώδους υλικού (συντελεστής α) εν αντιθέσει με αυτά που αναφέραμε για το συντελεστή μορφής και κατ' επέκταση για το συντελεστή β.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

3.1. Αξιοπιστία αριθμητικών αποτελεσμάτων

Πρωταρχικός στόχος της εργασίας αυτής ήταν η επαλήθευση των πειραματικών αποτελεσμάτων με τα αντίστοιχα υπολογιστικά και η έρευνα της αξιοπιστίας των τελευταίων, έτσι ώστε η χρήση τους να μπορεί να αποφέρει περαιτέρω αποτελέσματα. Η επαλήθευσή μας έγκειται σε σύγκριση μεταξύ μέσων τιμών του συντελεστή δύναμης C_f, ο οποίος ως γνωστό ορίζεται ως:

$$\mathbf{C_f = F / (1/2).\rho.V^2}$$

όπου F η δύναμη που ασκείται πάνω στα διάφορα σημεία του ανεμοφράκτη, ρ η πυκνότητα και V η ταχύτητα αναφοράς (ο παρονομαστής είναι κατά τα γνωστά η δυναμική πίεση) που εμείς έχουμε ορίσει σε ύψος 10μ. Τα αποτελέσματα της μέσης τιμής του C_f για τις πειραματικές και υπολογιστικές μετρήσεις παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.

Πίνακας 2. Σύγκριση αποτελεσμάτων πειραματικών και αριθμητικών δεδομένων.

	Υλικό κάλυψης πετάσματος	Περατότητα	C_f – Βόρεια	C_f – Νότια	C_f - Υπολογιστικά
1	Scirocco MD	62%	0.6 ± 0.3	0.5 ± 0.4	0.65
2	Windbreak Mono	38%	1.1 ± 0.5	0.9 ± 0.3	1.3
3	Film – 1st period of measurements	0%	1.3 ± 0.7	1.4 ± 0.4	1.67
4	Film – 2nd period of measurements	0%	1.6 ± 1.1	1.3 ± 0.6	

Όπως παρατηρούμε από τον *Πίνακα 2* η υπολογιστική προσομοίωση δίδει αποτελέσματα πολύ κοντά στα αντίστοιχα των πειραμάτων. Οι μέσες τιμές των συντελεστών δύναμης παρουσιάζονται σε συμφωνία και για την περίπτωση των διχτυών αλλά και σε αυτή του μη περατού υλικού. Η μόνη σχετικά αποκλίνουσα τιμή είναι αυτή για το δεύτερο δίχτυ (Windbreak Mono) και συγκεκριμένα για τις μετρήσεις που έγιναν με την διεύθυνση κίνησης του αέρα νότια. Να σημειώσουμε εδώ πως πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις και για τις δυο πιθανές φορές προσπίπτοντος κάθετου ανέμου, όπως φαίνεται στον πίνακα.

Το συμπέρασμα συνεπώς που μπορεί να εξαχθεί από την παραπάνω σύγκριση, είναι η αξιοπιστία του υπολογιστικού μοντέλου αλλά και πλέον η χρήση του για την εξαγωγή χρήσιμων αποτελεσμάτων και συμπερασμάτων για θέματα όπως οι μεταβολές πίεσης και ταχύτητας στην υπήνεμη πλευρά και η μεταβολή των τυρβωδών χαρακτηριστικών

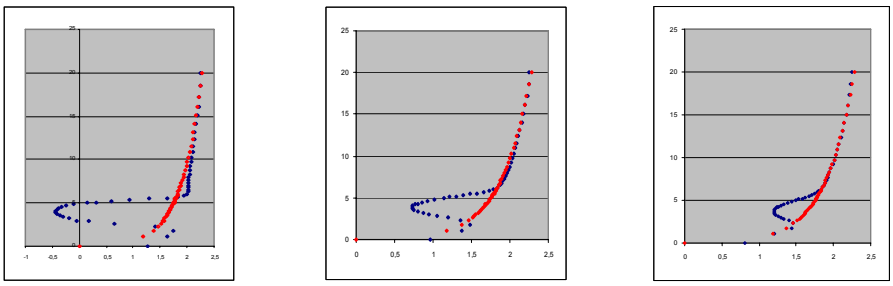
Ένα εξίσου σημαντικό συμπέρασμα που προκύπτει από τον *Πίνακα 2* είναι η μείωση των μέσων ασκούμενων φορτίων πάνω στον ανεμοφράκτη με τη χρήση διχτυών. Το γεγονός αυτό επιβεβαιώνεται από τα πειραματικά αλλά και τα υπολογιστικά αποτελέσματα. Στη συνέχεια θα αναλυθεί το πώς η χρήση των διχτυών αποσβένει τους στροβίλους στα ελεύθερα άκρα του ανεμοφράκτη.

3.2. Χρήση του υπολογιστικού μοντέλου για τον υπολογισμό του προφίλ της ταχύτητας και της κινητικής ενέργειας της τύρβης

Πέραν των συντελεστών ανεμοπίεσης, η αριθμητική προσομοίωση παρέχει πλήρη εικόνα της ροής γύρω από το πέτασμα. Έτσι είναι δυνατόν να υπολογιστεί το προφίλ της ταχύτητας πίσω από το πέτασμα (φαινόμενο ανεμοφράκτη). Όπως αναφέρθηκε στην εισαγωγή υπάρχει αρκετή βιβλιογραφία όπου εμφανίζονται αντίστοιχα διαγράμματα για την περίπτωση ενός ανεμοφράκτη στο έδαφος περατού είτε μη περατού. Επίσης είναι βασικό να σημειωθεί πως στην αναφερόμενης βιβλιογραφία δεν έχει καταγραφεί η χρήση διχτυών αλλά μόνο περατών ανεμοφρακτών των οποίων η συμπεριφορά χαρακτηρίζεται από την οπτική περατότητα, ποσότητα που αντιστοιχεί στο λόγο της οπτικά ανοικτής επιφάνειας προς την οπτικά ολική επιφάνεια του ανεμοφράκτη. Αναφέρθηκε προηγουμένως βέβαια ότι αυτό δεν είναι έγκυρο και πως η συμπεριφορά ενός πορώδους υλικού χαρακτηρίζεται από το συντελεστή β της εξίσωσης του Forchheimer

Με τη βοήθεια του υπολογιστικού πακέτου δημιουργήθηκε το προφίλ της ταχύτητας σε ένα επίπεδο *x-y* το οποίο διέρχεται από το κέντρο του ανεμοφράκτη, δηλαδή για σταθερό $z=13,5 = 7,25\ h$, στην υπήνεμη πλευρά του ανεμοφράκτη και κοντά σε αυτόν, συγκεκριμένα σε θέση $x = 0,5.h$, όπου h το ύψος του ανεμοφράκτη όπως ορίσθηκε προηγουμένως, ενώ ο ανεμοφράκτης είναι στη θέση $x=0$.

Η *Εικόνα 3* παρουσιάζει το προφίλ της συνιστώσας της ταχύτητας κατά τον x-άξονα. Είναι εμφανής η εξομάλυνση στη ροή η οποία προκύπτει και στις δυο περιπτώσεις όπου χρησιμοποιούνται ως κάλυψη του ανεμοφράκτη τα δυο δίχτυα. Σε κάθε παράσταση υπάρχει και το συγκριτικό διάγραμμα του προφίλ της ταχύτητας στην είσοδο της ανεμοσήραγγας. Είναι εμφανές πως η αδιαπέραστη κάλυψη προκαλεί εντονότερη απόκλιση από το αρχικό προφίλ της ταχύτητας, γεγονός που δεν υφίσταται στα δυο επόμενα διαγράμματα. Να σημειωθεί ότι μεγαλύτερη εξομάλυνση προκαλεί το δίχτυ του τελευταίου διαγράμματος το οποίο εμφανίζει και την μεγαλύτερη περατότητα.

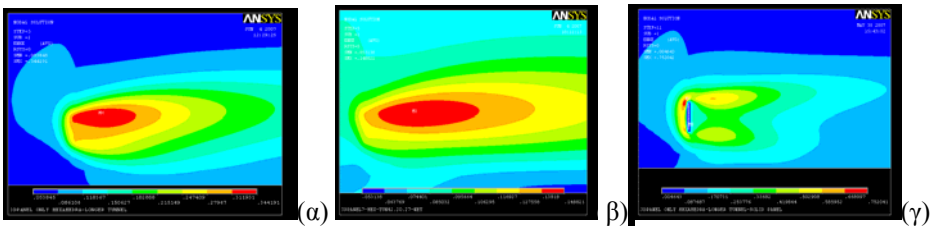


Εικόνα 3. Το προφίλ της συνιστώσας της ταχύτητας κατά τον άξονα *x* (διεύθυνση ροής του ανέμου) σε επίπεδο *x-y* και σε θέση $x=0,5h$ στην υπήνεμη πλευρά του ανεμοφράκτη για αδιαπέραστη και τις δυο περατές καλύψεις (αδιαπέραστο- WindbreakMono-Scirocco MD).

Αξίζει επίσης να αναφερθεί η ύπαρξη αρνητικών ταχυτήτων στο προφίλ του αδιαπέραστου καλύμματος. Είναι λοιπόν προφανής η δημιουργία στροβιλισμού στο υπήνεμο τμήμα αυτού του ανεμοφράκτη. Η απουσία των αρνητικών ταχυτήτων από τα διαγράμματα που αντιστοιχούν με κάλυψη του ανεμοφράκτη από δίχτυα, εκφράζει την απόσβεση των στροβίλων. Τα δυο δίχτυα έχουν υψηλή περατότητα και οι στρόβιλοι έχουν εξαφανιστεί, πράγμα το οποίο αναμενόταν και από στοιχεία της βιβλιογραφίας

[8,11,12] που αναφέρουν ύπαρξη στροβίλων για περατότητες το πολύ κοντά σε τιμές του 30%.

Σημαντική ένδειξη σαφώς της παρουσίας ομαλής ροής δεν θα μπορούσε να είναι άλλη από την απουσία έντονων τυρβωδών φαινομένων. Στη συνέχεια ακολουθούν ισο-καμπύλες της κινητικής ενέργειας της τύρβης κοντά στον ανεμοφράκτη και για τομή στο επίπεδο *x-z* δημιουργώντας ένα *x-y* επίπεδο που διέρχεται από το μέσο του ανεμοφράκτη.(*Εικόνα 4*).



(α) β) (γ)

Εικόνα 4. Ισο-καμπύλες της κινητικής ενέργειας της τύρβης κοντά στον ανεμοφράκτη για τις τρεις καλύψεις (επίπεδο *x-y*, (α) WindbreakMono, (β) Scirocco MD, (γ) Film)

Στα παραπάνω διαγράμματα παρουσιάζεται η μορφή της κινητικής ενέργειας της τύρβης. Στις δυο περιπτώσεις της κάλυψης με δίχτυα είναι εμφανής η πιο ομαλή μορφή των διαγραμμάτων πράγμα το οποίο δεν συναντάται στην περίπτωση του film. Εξάλλου στο διάγραμμα της αδιαπέραστης κάλυψης οι ισο-καμπύλες δίνουν και την εμφάνιση των δυο στροβίλων στα άνω και κάτω άκρα του ανεμοφράκτη στη γειτονιά της υπήνεμης πλευράς του. Να σημειωθεί πως η διαβάθμιση δεν θα πρέπει να ξεγελά μιας και δημιουργείται βάσει της μέγιστης τιμής της κινητικής ενέργειας της τύρβης. Στο διάγραμμα με την αδιαπέραστη κάλυψη η μέγιστη τιμή αντιστοιχεί στο 0,75 και εντοπίζεται στις άκρες του ανεμοφράκτη στην προσήνεμη πλευρά όπου εμφανίζονται οι μέγιστες μεταβολές στην κλίση της ταχύτητας. Στις περιοχές όπου εμφανίζονται οι στροβιλισμοί οι τιμές είναι μεταξύ 0,33-0,75. Στα αλλά δυο διαγράμματα οι μέγιστες τιμές, οι οποίες εμφανίζονται σε όλο το πεδίο πίσω από τον ανεμοφράκτη, αγγίζουν τα 0,14 για το δίχτυ Scirocco MD και 0,34 για το Windbreak Mono.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σε ένα υπερυψωμένο ανεμοφράκτη πραγματοποιήθηκαν πειραματικές μετρήσεις της μέσης τιμής του συντελεστή δύναμης *Cf* και συγκρίθηκαν με υπολογιστική προσομοίωση που πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια του πακέτου *ANSYS 10.0*. Οι τιμές βρέθηκαν σε αρκετά καλή συμφωνία, ενώ οι δυο μορφές μετρήσεων αποδείξανε την μείωση των φορτίων πάνω σε ένα ανεμοφράκτη εάν η κάλυψη αλλάξει από αδιαπέραστη σε περατή με τη χρήση δύο διχτυών.

Η χρήση των διχτυών επίσης βοήθησε στην εξομάλυνση της ροής στην υπήνεμη πλευρά του ανεμοφράκτη, όπως παρουσιάζεται από διαγράμματα προφίλ ταχύτητας, αλλά και στην απόσβεση των στροβίλων που εμφανίζονται στα ελεύθερα άκρα του ανεμοφράκτη. Ούτως ή άλλως, η απόσβεση των στροβίλων, εξαιτίας της χρήσης διχτυών, είναι σημαντική ένδειξη εξομάλυνσης της ροής.

Τέλος, ισο-καμπύλες της κινητικής ενέργειας της τύρβης, μας έδωσαν μια άποψη για την ένταση των τυρβωδών φαινομένων στην περιοχή κοντά στον ανεμοφράκτη. Όπως περιμέναμε, συναντήσαμε πιο ομαλή μορφή ροής στην κάλυψη με δίχτυα, ενώ υψηλές τιμές κινητικής ενέργειας της τύρβης εμφανίστηκαν για αδιαπέραστη κάλυψη (film).

Η εργασία αυτή υποστηρίχτηκε από το πρόγραμμα ΠΕΝΕΔ2003, αρ. Έργου 660, της ΓΓΕΤ.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. C.W. Letchford, J.D. Holmes. 1994. Wind loads on free-standing walls in turbulent boundary layer, J. Wind Eng. Ind. Aerodyn., 51 : 1-27
2. A.P.Robertson, R.P. Hoxey, P.J. Richards. 1995. Design code, full-scale and numerical data for wind loads on free-standing walls, J. Wind Eng. Ind. Aerodyn., 57 :203-214
3. A.P.Robertson, R.P. Hoxey, J.L. Short, W.A. Ferguson, S.Osmond. 1996. Full-scale testing to determine the wind loads on free-standing walls, , J. Wind Eng. Ind. Aerodyn., 60 : 123-137
4. A.P.Robertson, R.P. Hoxey, P.J. Richards, W.A Ferguson. 1997. Full-scale measurements and computational predictions of wind loads on free-standing-walls, J. Wind Eng. Ind. Aerodyn., 67&68 : 639-646
5. A.P.Robertson, R.P. Hoxey, J.L. Short, W.A. Ferguson, P.A. Blackomore. 1997. Wind loads on boundary walls : Full-scale studies, J. Wind Eng. Ind. Aerodyn., 69-71 : 451-459
6. A.P.Robertson, R.P. Hoxey, J.L. Short, W.A. Ferguson, P.A. Blackomore. 1998 Prediction of structural loads from fluctuating wind pressures: Validation from full-scale force and pressure measurements, J. Wind Eng. Ind. Aerodyn., 74-76 : 631-640
7. C.W. Letchford, A.P. Robertson. 1999. Mean wind loading at the leading ends of free-standing walls, J. Wind Eng. Ind. Aerodyn., 79 : 123-134
8. M.D.A.E.S. Perera. 1981. Shelter behind two-dimensional solid and porous fences, J. Wind Eng. Ind. Aerodyn., 8 : 93-104
9. E.F. Bradley, P.J. Mulhearn. 1983. Development of velocity and shear stress distributions in the wake of a porous shelter fence, , J. Wind Eng. Ind. Aerodyn., 15: 145-156
10. K.G. Ranga Raju, R.J. Garde, S.K. Singh, Nawab Singh. 1988. Experimental study on characteristics of flow past porous fences, , J. Wind Eng. Ind. Aerodyn., 29 : 155-163
11. Sang-Joon Lee, Hyoung- Bum Kim. 1999. Laboratory measurements of velocity and turbulence field behind porous fences, J. Wind Eng. Ind. Aerodyn., 80 : 311-326
12. A.R. Packwood. 2000. Flow through porous fences in thick boundary layers : Comparisons between laboratory and numerical experiments, J. Wind Eng. Ind. Aerodyn., 88 : 75-90
13. C.W. Letchford. 2001. Wind loads on rectangular signboards and hoardings, J. Wind Eng. Ind. Aerodyn., 89 : 135-151
14. Briassoulis D., and Mistriotis A., (2006): **"***Full-scale measurement of the aerodynamic coefficients for, agricultural nets*", Proceedings of the International Conference of Agricultural Engineers, AgEng, AgEng2006 / XVI CIGR World Congress, Bonn, Germany, September 3-7, 2006, Conf page 1958/0831, Archive no 44011958082.
15. Lage, J.L., (1998): The Fundamental Theory of Flow through Permeable Media from Darcy to Turbulence, p 1-31, in "Transport Phenomena in Porous Media" edited by D.B. Ingham & I. Pop, Pergamon Press (1998), Oxford.

(197)

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΑΝΑΓΚΩΝ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑΚΗΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ ΠΙΠΕΡΙΑΣ

Ι. Λ. Τσιρογιάννης[1], Ν. Κατσούλας[2], Κ. Κίττας[2] και Δ. Σάββας[3]
[1] ΤΕΙ Ηπείρου, Τμ. Ανθοκομίας – Αρχιτεκτονικής Τοπίου. Τ.Θ. 110, 47100 Άρτα. itsirog@teiep.gr
[2]Παν. Θεσσαλίας, Τμ. Γεωπονίας, Φυτ. Παρ/γής και Αγρ. Περιβάλλοντος, Εργ. Γεωργ. Κατασκευών & Ελέγχου Περιβάλλοντος. Ν. Ιωνία Μαγνησίας, 38446. ckittas@agr.uth.gr
[3]ΓΠΑ, Τμ. Φυτ. Παρ/γής, Ιερά Οδός 75, 11855, Αθήνα. dsavvas@aua.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία γίνεται σύγκριση πειραματικών μετρήσεων εξατμισοδιαπνοής καλλιέργειας πιπεριάς με τις αντίστοιχες εκτιμήσεις που προέκυψαν από τις υπολογιστικές προσεγγίσεις FAO Penman–Monteith και Stanghellini. Τα αποτελέσματα κρίνονται πρακτικά εφαρμόσιμα άλλα οι συντελεστές συσχέτισης με τα πειραματικά δεδομένα είναι μέτριοι, γεγονός που πιστοποιεί την ανάγκη ρύθμισης των μεθόδων που χρησιμοποιήθηκαν για προσαρμογή τους σε μεσογειακές συνθήκες με ιδιαίτερη έμφαση στην εκτίμηση των συντελεστών αεροδυναμικής και στοματικής αντίστασης.

COMPARISON OF WATER NEEDS CALCULATION METHODS FOR GREENHOUSE PEPPER CULTIVATION

I. L. Tsirogiannis[1], N. Katsoulas[2], C. Kittas[2] and D. Savvas[3]
[1] TEI of Epirus, Dept. FLA. P.O. Box 110, 47100 Arta. itsirog@teiep.gr
[2] University of Thessaly, School of Agr. Sciences, Dept. of Agriculture Crop Production and Rural Environment, N. Ionia, Magnesia 38446. ckittas@agr.uth.gr
[3]Agricultural Univ. of Athens, Dept. of Crop Prod., Iera Odos 75, 11855 Athens, dsavvas@aua.gr

ABSTRACT

In the present study, experimental evapotranspiration data originating from a greenhouse pepper cultivation were compared with the corresponding values predicted by two alternative models, specifically the FAO Penman–Monteith model and that proposed by Stanghellini. The results are considered applicable to cultivation practice but the coefficients of determination were mediocre for both methods which stresses the necessity for adjustments in order to improve their efficiency for the case of Mediterranean greenhouse conditions with emphasis to the assessment of aerodynamic and canopy resistances.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η σημερινή πρακτική, όσον αφορά τη διαχείριση της άρδευσης στις θερμοκηπιακές εκμεταλλεύσεις της χώρας, μας στηρίζεται κατά κύριο λόγο στην εμπειρία του παραγωγού και στις πρακτικές που έχουν επικρατήσει σε κάθε περιοχή για τις διάφορες καλλιέργειες. Παρόλα αυτά, για τον προγραμματισμό της άρδευσης θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν διάφορες μέθοδοι οι οποίες βασίζονται σε πληροφορίες όπως: η υγρασία στο ριζόστρωμα, το δυναμικό του νερού στα φύλλα, παράγοντες του μικροκλίματος σε συνδυασμό με παραμέτρους της καλλιέργειας, θερμοκρασία φύλλων κ.λ.π. Κάθε μέθοδος έχει πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Στην περίπτωση των θερμοκηπιακών καλλιεργειών, αισθητήρες ελέγχου κλιματικών παραμέτρων τοποθετημένοι μέσα (θερμοκρασία, υγρασία, συγκέντρωση CO_2), ή έξω από το θερμοκήπιο (ολική ηλιακή ακτινοβολία) είναι γενικά διαθέσιμοι και παρέχουν πληροφορίες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν όχι μόνο στον έλεγχο του μικροκλίματος αλλά και στον προγραμματισμό της άρδευσης. Η πιο κοινή μέθοδος που χρησιμοποιείται μέχρι σήμερα συνίσταται στην εκτίμηση της διαπνοής της καλλιέργειας με βάση την ηλιακή ακτινοβολία. Γενικότερα παρατηρείται απόκλιση μεταξύ των εκτιμήσεων της υδατοκατανάλωσης που παρέχουν οι διάφορες προσεγγίσεις, τόσο μεταξύ τους όσο και σε σχέση με πειραματικά δεδομένα. Για το λόγο αυτό η σύγκριση μεθόδων υπολογισμού της εξατμισοδιαπνοής στο εσωτερικό του θερμοκηπίου απασχολεί αρκετούς ερευνητές [1, 2, 3].

Στην παρούσα εργασία γίνεται σύγκριση πειραματικών μετρήσεων εξατμισοδιαπνοής υδροπονικής καλλιέργειας πιπεριάς (*Capsicum annum L.*) σε θερμοκήπιο με τις αντίστοιχες εκτιμήσεις που προέκυψαν από δύο υπολογιστικές προσεγγίσεις.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1. Το θερμοκήπιο και η καλλιέργεια

Οι μετρήσεις έγιναν στο πλαίσιο ενός γενικότερου πειράματος που αφορούσε τη μελέτη της θρέψης αλλά και του κλίματος υδροπονικής καλλιέργειας πιπεριάς (*Capsicum annum L.* cv. Calyx F1) το οποίο διεξήχθη την περίοδο από Ιούλιο έως Νοέμβριο 2005 στο γυάλινο θερμοκήπιο του τμήματος Ανθοκομίας – Αρχιτεκτονικής Τοπίου του Τ.Ε.Ι. Ηπείρου στους Κωστακιούς Άρτας (συντεταγμένες ΕΓΣΑ’87, X: 234712,17 m, Y: 4333915,20 m, υψόμετρο 5 m).

Το θερμοκήπιο είναι αμφικλινές, διπλό, με προσανατολισμό κορφιά Α-Δ. Η κάλυψη είναι από υαλοπίνακες μαρτελέ, πάχους 4 mm. Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του θερμοκηπίου είναι: ύψος υδρορροής = 3,15 m, ύψος κορφιά = 4,40 m, πλάτος κόλπου = 6,50 m, μήκος = 46 m, εμβαδόν = 600 m^2, όγκος = 2270 m^3. Το πάτωμα είναι στρωμένο με σκυρόδεμα.

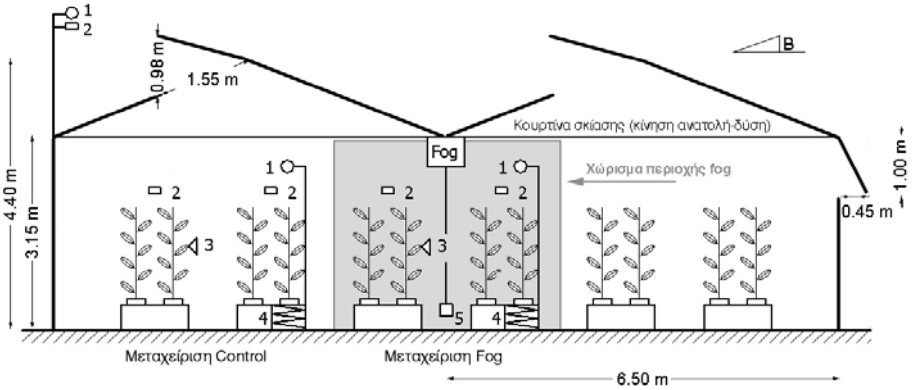
Ο αερισμός γίνεται από δύο συνεχή ανοίγματα στην οροφή (στη βόρεια πλευρά κάθε κόλπου) και ένα πλαϊνό άνοιγμα στην νότια πλευρά, τα οποία συνδέονται με άρθρωση στο πάνω μέρος τους. Τα ανοίγματα έχουν μήκος 45,90m, αυτά της οροφής έχουν πλάτος 1,55m και μέγιστο εμβαδόν 43m^2 ενώ το πλαϊνό έχει ύψος 1,00m και μέγιστη επιφάνεια 23m^2. Εκτός του φυσικού αερισμού για τον έλεγχο του κλίματος χρησιμοποιούνται συνολικά 6 μονάδες υδρονέφωσης ομοιόμορφα κατανεμημένες κατά μήκος της μεσαίας υδρορροής του θερμοκηπίου (ML Princess 2, ML System, με 8 ακροφύσια ανά μονάδα και ανεμιστήρα κατακόρυφης κίνησης αέρα, πίεση λειτουργίας 40bar και παροχή 36 L h^{-1} για την κάθε μονάδα) καθώς και κουρτίνα σκίασης (επιτυγχάνει σκίαση της τάξης του 50% σύμφωνα με τον κατασκευαστή). Ακόμη

υπάρχει σύστημα θέρμανσης με σωληνώσεις ζεστού νερού περιμετρικά και εντός του θερμοκηπίου.

Η θρέψη της καλλιέργειας γίνεται με κλειστό σύστημα υδροπονίας και η άρδευση με σύστημα στάγδην. Η καλλιέργεια γίνεται σε πάγκους ύψους 0,85 m, σε κάθε πάγκο υπάρχουν 2 κανάλια μήκους 5 m και πλάτους 0,25 m. Συνολικά είναι εγκατεστημένοι 36 πάγκοι. Όλα τα συστήματα (κλίμα, θρέψη και άρδευση) ελέγχονται από ειδική μηχανή και λογισμικό της Autonet.

Για το συγκεκριμένο πείραμα χρησιμοποιήθηκε το μεσαίο τμήμα του θερμοκηπίου (1/3 της έκτασης) που αποτελείται από 12 πάγκους. Σε κάθε πάγκο φυτεύτηκαν 15 φυτά / κανάλι σε γλάστρες των 4 L με υπόστρωμα ελαφρόπετρας στο ένα κανάλι και σάκους Fytocell, μήκους 1 m στο άλλο. Τα κανάλια ήταν σκεπασμένα με αδιαφανές πλαστικό φύλλο ώστε να περιορίζεται στο ελάχιστο η εξάτμιση από αυτά. Η πυκνότητα φύτευσης ήταν 2,60 φυτά m^{-2}. Στο Σχήμα 1 παρουσιάζεται η πειραματική διάταξη και οι θέσεις των οργάνων μέτρησης των κλιματικών παραμέτρων.

Τέσσερις πάγκοι πάνω από τους οποίους ήταν δύο μονάδες υδρονέφωσης απομονώθηκαν με πλαστικό φύλλο που έφτανε έως το ύψος της υδρορροής και αποτελούσαν το τμήμα Fog. Άλλοι τέσσερις πάγκοι αποτελούσαν το τμήμα Control. Οι κλιματικές ρυθμίσεις κατά την περίοδο του πειράματος είχαν ως εξής: συνεχής λειτουργία της υδρονέφωσης από 10:00 έως 18:00 με στόχο την διατήρηση της σχετικής υγρασίας στο 80%, διατήρηση των ανοιγμάτων ανοικτών όσο η θερμοκρασία στην περιοχή Fog ήταν μεγαλύτερη των 26ºC, διατήρηση της κουρτίνας ανοικτής με κάλυψη 80% της επιφάνειας του θερμοκηπίου ώστε να μην εμποδίζεται ο φυσικός αερισμός και διαχείριση άρδευσης με βάση το άθροισμα της προσπίπτουσας ηλιακής ενέργειας με ποτίσματα ανά 350 Wh κατά μέσο όρο και στόχο απορροής 35%.



Σχήμα 1. Τομή του θερμοκηπίου με την πειραματική εγκατάσταση και τα όργανα μέτρησης των κλιματικών παραμέτρων: 1-πυρανόμετρο, 2-αισθητήρας θερμοκρασίας και σχετικής υγρασία αέρα, 3-θερμοζεύγη για μέτρηση θερμοκρασίας φύλλου, 4-λυσιμετρικοί ζυγοί και 5-παροχόμετρο.

2.2. Μετρήσεις πεδίου και υπολογισμοί

Σκοπός της εργασίας είναι να γίνει υπολογισμός της εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας με δύο κοινά αποδεκτά μοντέλα: τη μέθοδο FAO Penman-Monteith (FAO P-M, Σχέση 1) [4] σε συνδυασμό με κατάλληλους φυτικούς συντελεστές που αφορούν την ειδική περίπτωση των θερμοκηπιακών καλλιεργειών και τη μέθοδο Stanghellini (Σχέση 2) [1, 2, 3, 5] που τροποποιεί την σχέση Penman–Monteith με σκοπό τον άμεσο υπολογισμό των υδατικών αναγκών των θερμοκηπιακών καλλιεργειών. Οι εκτιμήσεις των μοντέλων συγκρίνονται με άμεσες μετρήσεις της εξατμισοδιαπνοής. Στη Σχέση 2

έχουν γίνει μικρές προσαρμογές σε σχέση με τις πρωτότυπες εκφράσεις ώστε να ταιριάζουν τα σύμβολα και οι μονάδες με αυτές που χρησιμοποιούνται στη μέθοδο FAO P-M [4]:

$$ET_c = K_c \times ET_o = K_c \times \frac{0{,}408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T+273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0{,}34u_2)} \quad (1)$$

$$ET_c = 2LAI \frac{1}{\lambda} \times \left(\frac{\Delta(R_{nSt} - G) + 86400 \frac{(e_s - e_a)\rho C_p}{r_a}}{\Delta + \gamma\left(1 + \frac{r_s}{r_a}\right)} \right) \quad (2)$$

$$R_{nSt} = 0{,}07R_{ns} - \frac{252\rho C_p (T - T_c)}{r_R}, \quad r_R = \frac{\rho C_p}{4\sigma(T + 273{,}15)^3}$$

όπου, ET_c: δυνητική εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας (mm day^{-1}), K_c: φυτικός συντελεστής (αδιάστατος), ET_o: εξατμισοδιαπνοή αναφοράς για κανονικές συνθήκες (mm day^{-1}), R_n: καθαρή ακτινοβολία στο επίπεδο της καλλιέργειας (R_{nSt}: υπολογισμένη σύμφωνα με το μοντέλο Stanghellini [5]) (MJ m^{-2} day^{-1}), R_{ns}: ακτινοβολία μικρού μήκους κύματος εντός του θερμοκηπίου (MJ m^{-2} day^{-1}), G: ροή θερμότητας προς το έδαφος (MJ m^{-2} day^{-1}), T: μέση ημερήσια θερμοκρασία αέρα σε ύψος 2 m (°C), T_c: μέση ημερήσια θερμοκρασία φύλλου (°C), u_2: ταχύτητα ανέμου σε ύψος 2 m (m s^{-1}), e_s: πίεση υδρατμών στο κορεσμό (για θερμοκρασία αέρα) (kPa), e_a: πίεση υδρατμών (για θερμοκρασία αέρα) (kPa), Δ: κλίση της καμπύλης πίεσης υδρατμών (kPa $°C^{-1}$), γ: ψυχρομετρική σταθερά (kPa $°C^{-1}$), LAI: δείκτης φυλλικής επιφάνειας (επιφάνεια φύλλων ανά επιφάνεια εδάφους (m^2 m^{-2}), ρ: πυκνότητα του αέρα (kg m^{-3}), λ: λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης του νερού (MJ kg^{-1}), C_p: ειδική θερμότητα αέρα υπό σταθερή πίεση (MJ $kg^{-1}{}^{o}C^{-1}$), σ: σταθερά Stefan-Boltzman (MJ m^{-2} K^{-4} day^{-1}), r_a: αεροδυναμική αντίσταση της καλλιέργειας (μέση τιμή ημέρας) (s m^{-1}), r_s: στοματική αντίσταση της καλλιέργειας (μέση τιμή ημέρας) (s m^{-1}), r_R: αντίσταση ακτινοβολίας (day m^{-1}).

Σε κάθε τμήμα καταγράφονταν οι ακόλουθες κλιματικές παράμετροι:

- θερμοκρασία (°C) και σχετική υγρασία (%) αέρα, μέσω 8 αισθητήρων, ένας για κάθε πάγκο (model H08-032-08, HOBO instruments, MA),
- ολική ηλιακή ακτινοβολία στο εσωτερικό (W m^{-2}), (πυρανόμετρα model SKS 1110, Skye instruments, UK),
- θερμοκρασία φύλλων (°C), με θερμοζεύγη χαλκού-κονσταντάνης (type T, διάμετρος αισθητήρα 1 mm, Omega Engineering, Manchester, U.K.) τα οποία ήταν στερεωμένα στην κάτω επιφάνεια των φύλλων,
- διαπνοή, μέσω δύο λυσιμετρικών ζυγών (model 60000 G SCS, Presica, Switzerland), καθένας από τους οποίους έφερε 3 φυτά σε ειδική κατασκευή.

Η απώλεια βάρους που κατέγραφαν οι ζυγοί θεωρήθηκε ίση με τη απώλεια νερού μέσω διαπνοής από τα φυτά. Παράλληλα γινόταν καταγραφή του όγκου νερού (l) που εκνεφωνόταν από τις δύο μονάδες υδρονέφωσης (παροχόμετρο model DN 25, Actaris, France), της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας, της θερμοκρασίας, καθώς και της σχετικής υγρασίας στο εξωτερικό του θερμοκηπίου. Όλες οι μετρήσεις (εκτός από αυτές των HOBO) συλλέγονταν σε data logger (model DL3000, Delta-T devices, Cambridge, UK). Οι μετρήσεις γίνονταν ανά 30 s και καταγράφονταν οι μέσοι όροι δεκαλέπτου.

Ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας εκτιμήθηκε μέσω καταστροφικών μετρήσεων ολόκληρων φυτών, των οποίων τα φύλλα σαρώθηκαν σε scanner. Οι μετρήσεις αυτές έγιναν τρεις φορές: στις 9 Αυγούστου, στις 26 Σεπτεμβρίου και στις 22 Νοεμβρίου και η αντίστοιχη τιμή του LAI βρέθηκε ίση με 1,90, 4,30 και 3,20 για το τμήμα με σύστημα δροσισμού με τεχνητή ομίχλη (Fog) και 2,10, 3,40 και 2,20 για το τμήμα Control.

Όσον αφορά την ταχύτητα ανέμου στο επίπεδο των φυτών στο εσωτερικό του θερμοκηπίου, επειδή δεν υπήρχαν διαθέσιμες μετρήσεις επιλέχθηκε η τιμή 0,5 m s^{-1} μετά από αναζήτηση στη σχετική βιβλιογραφία (για παρόμοιες κατασκευές και καλλιέργειες βρέθηκαν: 0,10-0,50 m s^{-1} [6], 0,30 m s^{-1} [7], 0,12-0,18 m s^{-1} [8], όμως η ταχύτητα του ανέμου σε ύψος 2 m πρέπει να είναι μεγαλύτερη η ίση των 0,50 m s^{-1} όταν χρησιμοποιείται στην εξίσωση υπολογισμού της εξατμισοδιαπνοής [4] ώστε να λαμβάνονται υπόψη οι επιδράσεις της αστάθειας του οριακού στρώματος και η άνωση του αέρα όσον αφορά την υποβοήθηση της ανταλλαγής υδρατμών στην επιφάνεια όταν υπάρχει νηνεμία. Θέτοντας τον περιορισμό αυτό ως προς την ταχύτητα ανέμου για την εξίσωση της ΕΤ βελτιώνεται η ακρίβεια εκτίμησης υπό συνθήκες πολύ χαμηλής ταχύτητας ανέμου (συνηθισμένη κατάσταση στο θερμοκήπιο).

Η ροή θερμότητας προς το έδαφος (G) μπορεί -σε περιπτώσεις που η περίοδος υπολογισμού της εξατμισοδιαπνοής είναι ίση ή μεγαλύτερη της ημέρας- να θεωρηθεί πρακτικά αμελητέα [1, 4].

Σχετικά με τη λευκαύγεια (α, albedo), το συντελεστή αντίστασης επιφάνειας και τον αεροδυναμικό συντελεστή αντίστασης στη μεταφορά υδρατμών που είναι απαραίτητα δεδομένα για τον άμεσο υπολογισμό με βάση το μοντέλο Stanghellini [1, 5] αναζητήθηκαν δεδομένα στη βιβλιογραφία και έγιναν έμμεσοι υπολογισμοί. Για τη λευκαύγεια η μέση ημερήσια τιμή για τη θερινή περίοδο θεωρήθηκε ίση με 0,25 για καλλιέργεια πιπεριάς σε θερμοκήπιο (τμήμα Control) [9, 10, 11], ενώ για τη τμήμα Fog, λόγω του ότι για μεγάλο διάστημα της ημέρας τα φύλλα ήταν βρεγμένα, επιλέχθηκε τιμή ίση με 0,15 [12]. Για τη στοματική και την αεροδυναμική αγωγιμότητα της καλλιέργειας, δεν βρέθηκαν αναφορές στη βιβλιογραφία για καλλιέργεια πιπεριάς. Γενικά, υπάρχει μεγάλη έλλειψη καλά τεκμηριωμένης πληροφορίας σχετικά με τους συντελεστές αυτούς [4]. Έτσι, έγινε εκτίμησή τους από βιβλιογραφικές πηγές [13, 14] και από έμμεσο υπολογισμό τους [8, 15]. Οι μέσες ημερήσιες τιμές που χρησιμοποιήθηκαν ήταν r_a=100 και 150 s m^{-1} για τα τμήματα Control και Fog αντίστοιχα και r_c=200 s m^{-1} και για τα δύο τμήματα.

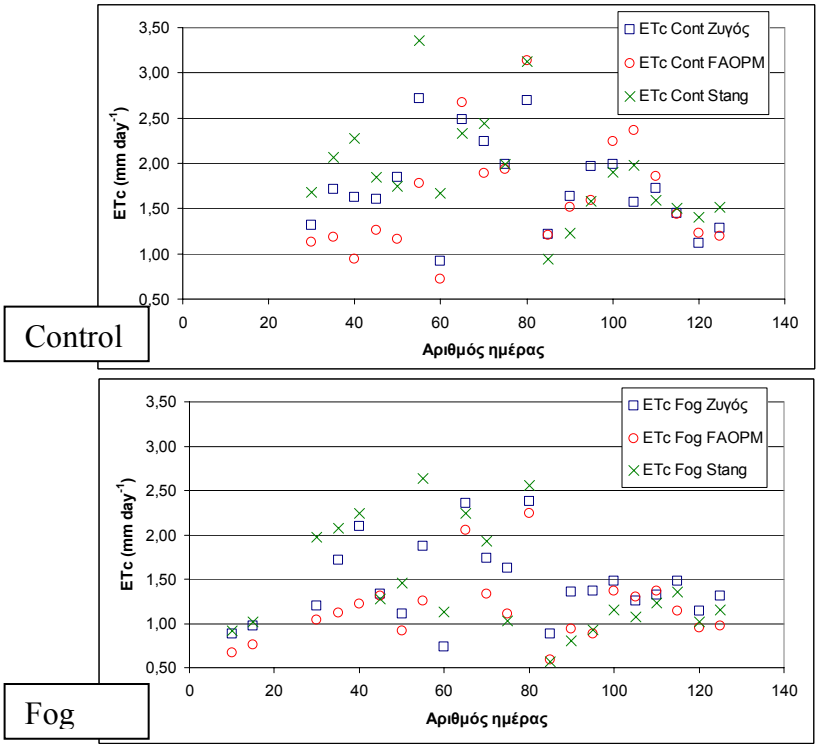
Τέλος, όσον αφορά τους φυτικούς συντελεστές που απαιτούνται για τον υπολογισμό με βάση το μοντέλο FAO P-M [4] χρησιμοποιήθηκαν αυτοί που αναφέρονται από τους Orgaz et al. [16] για πιπεριά θερμοκηπίου σε μεσογειακές συνθήκες (K_{cini}=0,2: 0-30 ημέρες, K_{cmid}=1,3: 60-125 ημέρες και K_{cend}= 0,9: 180 ημέρες).

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Ο Πίνακας 7 παρουσιάζει μία εικόνα του μικροκλίματος που επικρατούσε στο θερμοκήπιο κατά την περίοδο των μετρήσεων. Στο Σχήμα 2 παρουσιάζονται οι μετρημένες τιμές σε σχέση με αυτές που υπολογίστηκαν μέσω των δύο προσεγγίσεων για 20 ομοιόμορφα κατανεμημένες ημέρες κατά τη διάρκεια της περιόδου μελέτης. Είναι φανερό ότι και για τα δύο τμήματα το μοντέλο Stanghellini κατά κανόνα υπερεκτιμά την εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας ενώ το αντίθετο συμβαίνει με το μοντέλο Penman-Monteith με φυτικούς συντελεστές που προτείνονται από τους Orgaz κ.α.. Η μέση τιμή των απολύτων διαφορών και για τα δύο μοντέλα και για τα δύο τμήματα είναι ίση με 0,30 mm day^{-1}.

Πίνακας 7. Μέσες τιμές (για την περίοδο της ημέρας 10:00-18:00) ενδεικτικών παραμέτρων του κλίματος στο θερμοκήπιο κατά την περίοδο των μετρήσεων.

	T °C		T_c °C		e_s-e_a kPa	
Τμήμα / Περίοδος	Fog	Control	Fog	Control	Fog	Control
Ιούλιος	29,1	32,4	26,7	29,0	1,1	2,5
Αύγουστος	28,0	30,0	25,9	27,2	1,2	1,9
Σεπτέμβριος	26,3	29,6	25,0	26,7	1,0	1,9
Οκτώβριος	24,1	28,2	24,3	25,5	1,0	1,8

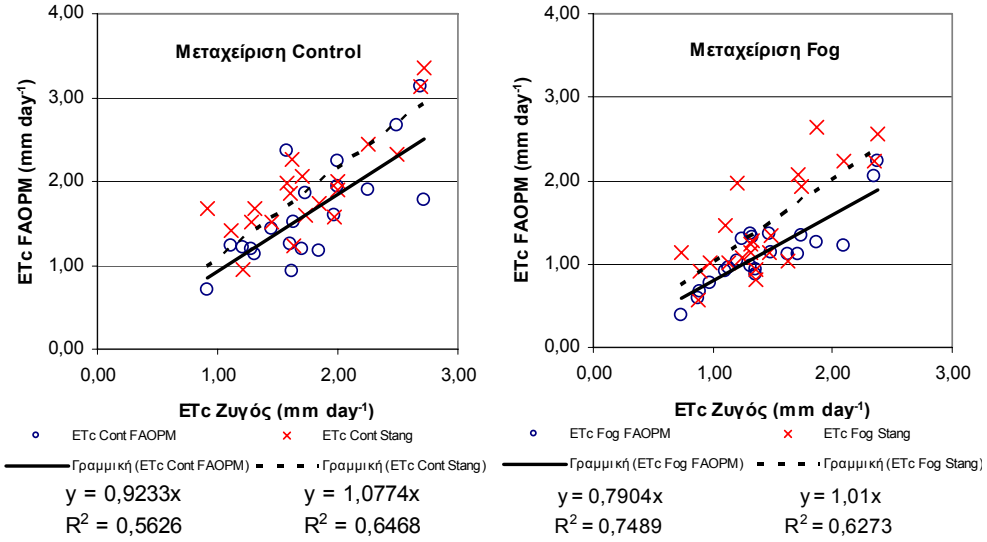


Σχήμα 2. Τιμές ET_c που μετρήθηκαν με τους λυσιμετρικούς ζυγούς (□) στα δύο τμήματα σε σχέση με τις τιμές που υπολογίστηκαν από το μοντέλο FAO PM (ο) και το μοντέλο Stanghellini (x).

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 3, για το τμήμα Control οι τιμές του R^2 ήταν 0,5626 και 0,6488 για τα μοντέλα FAO PM και Stanghellini αντίστοιχα, ενώ για το τμήμα Fog οι αντίστοιχες τιμές ήταν 0,7489 και 0,6273. Όσο αφορά το συντελεστή συσχέτισης (κλίση της ευθείας της γραμμικής παρεμβολής) για το τμήμα Control είχε τιμή 0,9233 και 1,0774 για τα μοντέλα FAO PM και Stanghellini αντίστοιχα, ενώ για το τμήμα Fog οι αντίστοιχες τιμές ήταν σε 0,7904 και 1,0100.

Το μοντέλο Stanghellini φαίνεται να επιτυγχάνει καλύτερη πρόβλεψη της εξατμισοδιαπνοής και στα δύο τμήματα (όπως φαίνεται από τις τιμές του συντελεστή συσχέτισης). Το αποτέλεσμα αυτό μπορεί να χαρακτηριστεί αναμενόμενο μια και το μοντέλο Stanghellini έχει αναπτυχθεί με σκοπό την προσαρμογή της σχέσης Penman-Monteith στο μικροκλίμα του εσωτερικού του θερμοκηπίου [1, 2, 3, 5].

Σε κάθε περίπτωση, η αδυναμία και των δύο προσεγγίσεων να εκτιμήσουν με μεγαλύτερη ακρίβεια τα πραγματικά δεδομένα μπορεί να αποδοθεί στη δυσκολία καθορισμού φυτικών συντελεστών με γενική ισχύ για όλες τις περιπτώσεις θερμοκηπιακής καλλιέργειες πιπεριάς καθώς και της αντικειμενικής αδυναμίας ακριβούς προσδιορισμού των συντελεστών αντίστασης στη μεταφορά υδρατμών.



Σχήμα 3. Μετρημένη ETc (ημερήσια) σε σχέση με τα δύο μοντέλα υπολογισμού για τα δύο τμήματα.

Είναι προφανές ότι υπάρχει ανάγκη τροποποίησης των μεθόδων που χρησιμοποιήθηκαν για την εκτίμηση της κατανάλωσης νερού σε θερμοκηπιακές καλλιέργειες πιπεριάς, ώστε αυτές να προσαρμοστούν στις μεσογειακές συνθήκες, με ιδιαίτερη έμφαση στον υπολογισμό των συντελεστών αεροδυναμικής και επιφανειακής αντίστασης. Σε κάθε περίπτωση όμως, και τα δύο μοντέλα δίνουν την δυνατότητα μίας καλής πρώτης προσέγγισης των υδατικών αναγκών μίας καλλιέργειας πιπεριάς στο θερμοκήπιο. Μπορούν επομένως να χρησιμοποιηθούν για το σχεδιασμό προγραμμάτων άρδευσης, τα οποία έτσι και αλλιώς έχουν ανάγκη προσαρμογής στις τοπικές συνθήκες καλλιέργειας κατά την εφαρμογή τους στην πράξη.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Prenger, J.J., Fynn, R.P., Hansen, R.C., 2002. A comparison of four evapotranspiration models in a greenhouse environment. Trans. ASAE, 45(6): 1779–1788,
2. Mpusia, P. T. O., 2006. Comparison of water consumption between greenhouse and outdoor cultivation. MSc Thesis, International Institute for Geo-information Science and Earth Observation. Enshede, The Netherlands
3. Donatelli, M., Bellocchi, G., Carlini, L., 2006. Sharing knowledge via software components: Models on reference evapotranspiration. Europ. J. Agronomy 24:186–192

4. 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 IT, 359 pp.
5. Stanghellini, C., 1987. Transpiration of greenhouse crops: An aid to climate management. PhD diss. Agr. Un. Wageningen.Wageningen, The Netherlands.
6. Khaoua, S.A.O., Bournet, P.E., Migeon, C., Boulard, T., Chasseriaux, G., 2006. Analysis of greenhouse ventilation efficiency based on computational fluid dynamics. Biosys. Eng.,, 95(1): 83–98.
7. Molina-Aiz, F.D., Valera, D.L., Álvarez, A.J., 2004. Measurement and simulation of climate inside Almeria-type greenhouses using computational fluid dynamics. Agric. For. Meteorol., 125: 33–51.
8. Atarassi, R.T., Folegatti, M.V., Brasil, R.P.C., 2006. Convection regime between canopy and air in a greenhouse. Sci. agric. (Piracicaba, Braz.), 63(1): 77-81.
9. Hasson, A.M., 1990. Radiation components over bare and planted soils in a greenhouse. SolarEnergy, 44(1):1-6.
10. Nederhoff, E.M., Vegter, J.G., 1994. Photosynthesis of stands of tomato, cucumber and sweet pepper measured in greenhouses under various CO_2-concentrations. Annals of Botany, 73: 353-361.
11. AL-Riahi, M., AL-Karaghouli, A., Hasson, A.M., AL. Kayassi N., 1989. Relations between radiation fluxes of a greenhouse in semi-arid conditions. Agric. For. Meteorol., 44: 329-338.
12. Κουτσογιάννης, Δ.. 2004. Διδακτικές σημειώσεις εξατμισοδιαπνοής. ΕΜΠ Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Αθήνα.
13. Lhommea, J.P., Chehbouni, A., Elguero, E., Boulet, G., 2002. Examination of monteith's parameterization of canopy resistance, Scientific Report. ORSTOM/Universidad de Sonora, Hermosillo, Sonora, Mexico.
14. Katerji, N., Rana, G., 2006. Modelling evapotranspiration of six irrigated crops under Mediterranean climate conditions. Agric. For. Meteorol., 138:142–155.
15. Katsoulas, N., Baille, A., Kittas, C., 2002. Influence of leaf area index on canopy energy partitioning and greenhouse cooling requirements. Biosys. Eng., 83(3): 349–359.
16. Orgaz, F., Fernandez, M.D., Bonachelac, S., Gallardoc, M. , Fereresa, E., 2005. Evapotranspiration of horticultural crops in an unheated plastic greenhouse Agr. Water Manag., 72: 81–96.

(205)

ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΕΙΚΟΝΑΣ ΣΕ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑ ΓΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΟΥ ΚΑΛΛΙΕΡΓΗΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Βέντζας Δ., Παναγιωτίδη Αικ.
ΤΕΙ Λάρισας, Τμήμα Τεχνολογίας Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών, 411 10 Λάρισα,
ventzas@teilar. gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η εργασία παρουσιάζει τα συστηματικά βήματα σχεδίασης ενός συστήματος επεξεργασίας εικόνας για διαχείριση του καλλιεργητικού περιβάλλοντος σε θερμοκήπια. Μελετά την δυνατότητα καταγραφής με εικόνα των παραμέτρων του καλλιεργητικού περιβάλλοντος και την συναγωγή συμπερασμάτων, σε χειροκίνητο και αυτόματο τρόπο λειτουργίας. Το σύστημα σκοπό έχει να ολοκληρωθεί σαν αυτόματο (μη παρακολουθούμενο από χειριστή) (Unattended Autonomous Surveillance, UAS), χρησιμοποιώντας ένα ευφυές σύστημα παρακολούθησης θερμοκηπίων (Intelligent Greenhouse Monitoring System, IGMS) βασισμένο σε τεχνολογία email, SMS (short message service) και streaming video ή MMS.

IMAGE PROCESSING TECHNIQUES IN GREENHOUSES FOR AGRICULTURAL ENVIRONMENT MANAGEMENT

Ventzas D., Panagiotidi Ek.
TEI oof Larissa, School of Technological Applications, Dept. of Computer Science and Telecomunications, 41 110 Larissa.

ABSTRACT

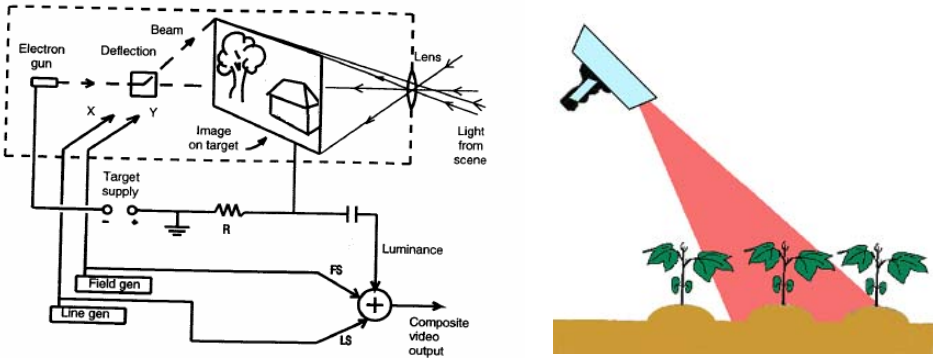
The paper presents the systematic steps to design an Image Processing software system for greenhouse agricultural environment management. By monitoring general and specific environment scenes we can parameterize the agricultural environment in a greenhouse. Decision making reliability is enhanced by expert system knowledge acquisition and comparison in automatic and manual video monitoring systems. The system is intended to be integrated into an automatic Unattended Autonomous Surveillance (UAS), by using an Intelligent Greenhouse Monitoring System (IGMS) based on email, SMS (short message service) and streaming video or MMS technology.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η συστηματική σχεδίαση ενός συστήματος για διαχείριση του καλλιεργητικού περιβάλλοντος σε θερμοκήπια με τεχνικές επεξεργασίας εικόνας σκοπό έχει να ολοκληρωθεί σαν αυτόματο (μη παρακολουθούμενο από χειριστή) (Unattended Autonomous Surveillance, UAS), χρησιμοποιώντας ένα ευφυές σύστημα παρακολούθησης θερμοκηπίων (Intelligent Greenhouse Monitoring System, IGMS) βασισμένο σε τεχνολογία email, SMS (short message service) και streaming video ή MMS [1], βλ. σχ. 1.. Έτσι προτείνεται:

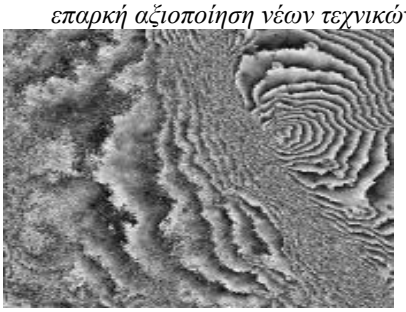
1. *Χρήση κάμερας για συνεχή, κατά διαστήματα ή οδηγούμενη από γεγονότα (event driven)* [3]:

παρακολούθηση θερμοκηπίου (ανάπτυξη φυτών, κ.λ.π.)
έλεγχο καιρικών συνθηκών (χαλάζι
συγχρονισμό δραστηριοτήτων
ασφάλεια σε
εισβολή παρείσακτων και κλοπής
καταστροφή δομής, πυροπροστασία
επιδρομή καταναλωτών (τρωκτικών, πτηνών, εντόμων) κ.λ.π.



Σχήμα 1. Σύστημα παρακολούθησης επιτήρησης θερμοκηπίων

ανίχνευση / αναγνώριση σε ασθένειες φυτών και αποχρωματισμό / κακό σχηματισμό φύλλων
έλεγχο επαρκούς άρδευση, λίπανσης, καταπολέμησης ζιζανίων και ασθενειών
ανίχνευση ωρίμανσης καρπού για συγκομιδή
φωτισμό και ενεργητική παρακολούθηση φωτοσύνθεσης
επαρκή αξιοποίηση νέων τεχνικών (π.χ. ράντισμα με μη τοξικά υγρά)



Τηλεπισκόπιση σε 3D εικόνα εδάφους

Τμηματοποίηση (segmentation) εικόνας θερμοκηπίου

Σχήμα 2. Τεχνικές επεξεργασίας σήματος

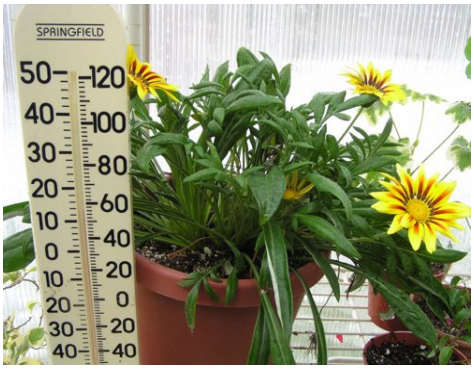
2. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΣΗΜΑΤΟΣ σε ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑ

Η βασικότερη εφαρμογή της Πληροφορικής Τεχνολογίας Επεξεργασίας Εικόνας και Σημάτων στη Γεωργία είναι η Τηλεπισκόπιση αγρών (όρια, καλλιέργειες, εδάφη, κ.λ.π.) ακόμη και με ειδικές τεχνικές, π.χ. 3D τηλεπισκόπισης εικόνας εδάφους με χρήση της τεχνικής διαφοράς φάσης συμβολομετρίας και SAR [9]. Ωστόσο εδώ χρησιμοποιούνται απλές εικόνες και video frames από το περιβάλλον θερμοκηπίων με σκοπό την απομόνωση ιδιοτήτων μετρήσεων του καλλιεργητικού περιβάλλοντος των θερμοκηπίων, π.χ. με τεχνικές τμηματοποίησης (segmentation) της εικόνας που δίνει την ιστορία ανάπτυξης των φυτών και την κάλυψη του θερμοκηπίου και του εδάφους [4] βλ. σχ. 2. Περισσότερες εφαρμογές παρουσιάζονται στην παράγραφο 4.

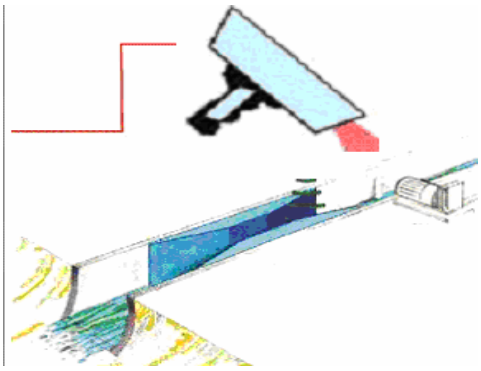
3. ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΣΗΜΑΤΟΣ

Στη διαχείριση θερμοκηπίων χρησιμοποιούμε τεχνικές επεξεργασίας εικόνας, βλ. σχ. 3, 4 (παρακολούθηση ανάπτυξης και άρδευσης φυτών).:

1. ανάκτηση εικόνας και video
2. συνέλιξη και αλληλοσυσχέτιση
3. αναλυτικούς μετασχηματισμούς
4. γεωμετρικούς μετασχηματισμούς
5. μορφολογικούς μετασχηματισμούς
6. αριθμητικούς και σημειακούς μετασχηματισμούς, κ.λ.π.

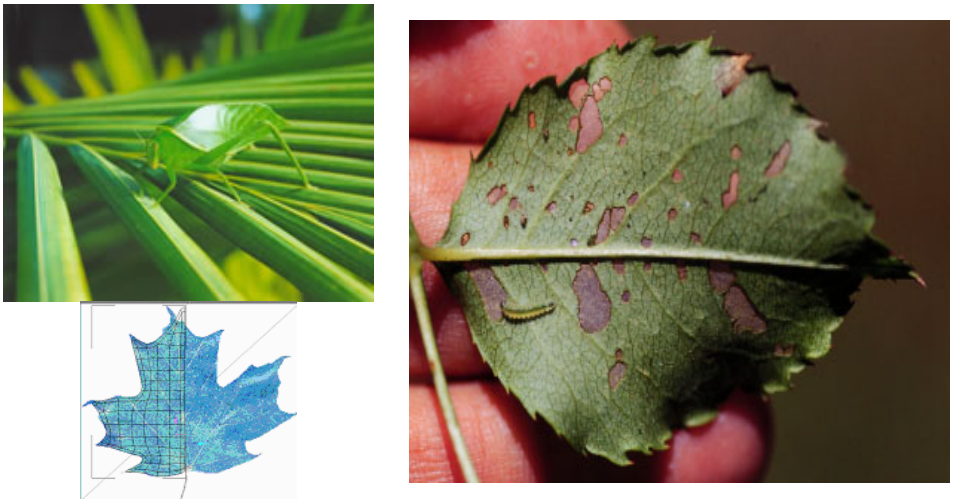


Σχ. 3. Παρακολούθηση ανάπτυξης φυτών



Σχ. 4. Παρακολούθηση ανοικτού καναλιού άρδευσης

Στη διαχείριση περιβάλλοντος θερμοκηπίων χρησιμοποιούμε αναλυτικές (ιστόγραμμα, ταξινόμηση, απεικόνιση pixel τιμών, χαρακτηρισμό αντικειμένων και κλάσεων, τυποποίηση συνδεδεμένων στοιχείων (*connected components labelling*), ομαδοποίηση pixels σε περιοχές), αριθμητικές, σημειακές (οριακή σύγκριση (thresholding), προσαρμοστική σύγκριση, εξισορρόπηση ιστογράμματος, αντίθεση εικόνας, λογαριθμικοί / εκθετικοί τελεστές, κ.λ.π.), γεωμετρικές (scaling, περιστροφή, ανάκλαση, μετατόπιση, παραμορφώσεις, κ.λ.π.), μορφολογικές (άπλωμα, διάβρωση, άνοιγμα, κλείσιμο, μετασχηματισμό hit & miss, λέπτυνση, πάχυνση, σκελετοποίηση (scelotonization), ανίχνευση χείλους, άλλοι μετασχηματισμοί), κ.λ.π. λειτουργικές τεχνικές επεξεργασίας εικόνων [16].



Σχήμα 5. Ταυτοποίηση φύλλων, φυτών, οργανισμών, εντόμων, ασθενειών, κ.λ.π.

4. ΟΠΤΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΤΟ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟ

Αφύλακτα συστήματα παρακολούθησης (Unattended Autonomous Surveillance (UAS)) ανταποκρίνονται στις απαιτήσεις των αγροτών για ασφάλεια και αξιοπιστία εργασίας. Ένα ευφυές σύστημα καταγραφής θερμοκηπίων (Intelligent Greenhouse Monitoring System (IGMS)) χρησιμοποιεί και τεχνολογία MMS. Εικόνες και περιεχόμενα video συλλέγονται με προσαρμοστικές οπτικές cameras και μετά από συνεχή επεξεργασία εικόνας ανταποκρίνονται σε απρόσμενη μεταβολή κατάστασης (π.χ. εισβολή παρείσακτου στο θερμοκήπιο ή καταστροφικά καιρικά φαινόμενα, κ.λ.π.), το σύστημα επικοινωνεί και ειδοποιεί τον αγρότη, αναμεταδίδοντας και εικόνες μέσω SMS, streaming video, MMS ή email [2], ~~[8],~~ [11]. Επίσης είναι δυνατή η παρακολούθηση:

- ηλιακού ή τεχνητού φωτισμού, άρα και έμμεσα της φωτοσύνθεσης
- βιολογικών οργανισμών (παραγωγών (φυτών), καταναλωτών (ζώων και εντόμων) και αποσυνθετητών (μικροοργανισμών και εντόμων)

Η τεχνική επεξεργασίας σήματος, εικόνας και video χρησιμοποιείται στον προσδιορισμό / διαχωρισμό φυτών και καλλιεργειών στην ταυτοποίηση φύλλων, βλ. σχ. 5, φυτών, οργανισμών, εντόμων και τρωκτικών, ασθενειών, εξάπλωσης ασθενειών, συνθηκών και ακεραιότητας φύλλων σε εικόνες εμφανών μερών

Σχήματα 6. Προβλήματα εικόνων σε άρδευση θερμοκηπίων

Η παράλληλη και σύνθετη χρήση της άρδευσης για λίπασμα, πότισμα, εντομοκτονία (με εντομοκτόνα ή με μη τοξικά διαλύματα) και η γενικότερη διαχείριση σε διαφορετικές ώρες της ημέρας εξοικονομούν νερό, ενέργεια και αποτελέσματα και καθιστούν την διαχείριση νερού μέσα στο θερμοκήπιο μία σύνθετη και πολύπλοκη διεργασία που ελέγχεται με απλές συμβατικές μεθόδους [4, 5], , βλ. σχ. 6.

Η παρακολούθηση του εδάφους, η υγρασία των φύλλων και τα συμβάντα της βροχής και της άρδευσης (με ή χωρίς λίπασμα και εντομοκτόνα) είναι δυνατή υπό σταθερές συνθήκες φωτισμού.

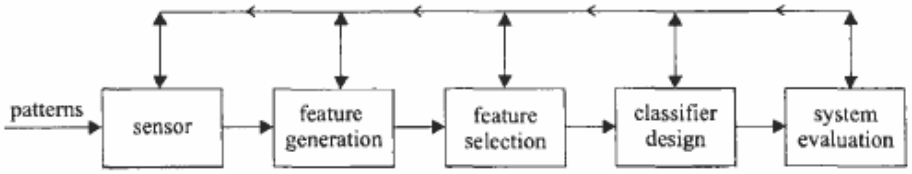
Σχήμα 7. RGB εικόνες για ανίχνευση χρόνου συγκομιδής και ωρίμανσης καρπών

Οι ρίζες των φυτών και η κάλυψη με χώμα μειώνει την εξάτμιση του νερού. Η δομή (ύφανση, texture) του εδάφους, ο αερισμός του κάτω μέρους του φυτού (αραίωμα), η διαπερατότητα, η διάβρωση και η ικανότητα κατακράτησης νερού είναι δυνατόν να μελετηθούν με τεχνικές επεξεργασίας εικόνας. Είναι σαφής η δυσκολία αυτόματης ανάκτησης εικόνας εδάφους σε πολλά θερμοκήπια.

Οι μεταβλητές κατάστασης (state variables) ενός θερμοκηπίου που θα πρέπει να «μετρηθούν» [10] από μία camera με παρατήρηση των εικόνων είναι: εσωτερική / εξωτερική θερμοκρασία, υγρασία, δροσισμός, επάρκεια άρδευσης, ταχύτητα αέρα, αερισμός, ηλιακή ακτινοβολία, ανάπτυξη φυτών, έντομα και παράσιτα, καλύμματα φυτών, ενδιάμεσες φυτεύσεις, απώλειες, διάβρωση, ευτροφισμός, λιπάσματα, συστατικά (αδύνατη να μετρηθεί, αλλά μπορεί να παρακολουθηθεί με κάμερα), κλπ.

Ανίχνευση χρόνου συγκομιδής και ωρίμανσης καρπών σε RGB εικόνες, οδηγεί σε μείωση κόστους και φθορών [6], , βλ. σχ. 7. Τα βασικά βήματα στη σχεδίαση ενός συστήματος ταξινόμησης ωρίμανσης καρπών είναι, , βλ. σχ. 8:

Εικόνα → χαρακτηριστικό (χρώμα, κ.λ.π.) → σχεδίαση ταξινομητή (classifier) → εκτίμηση

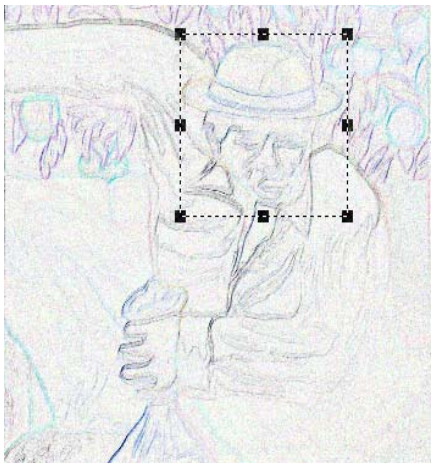


Σχήμα 8. Αναγνώριση / ταξινόμηση χαρακτηριστικών εικόνων

Επίθεση πτηνών ή και εντόμων - Η προσέγγιση κοπαδιού καταναλωτών παρουσιάζει διαφορετικά προβλήματα στις τεχνικές επεξεργασίας σήματος σε σύγκριση με ανίχνευση μεμονωμένων καταναλωτών

Κατεστραμμένα φυτά από καταναλωτές – Χειροκίνητη εκπαίδευση software, μπορεί να αποφασίσει για την φθορά των φυτών και την έκταση φθοράς

Καταστροφές δομής θερμοκηπίου – έλεγχος ακεραιότητας



Ανίχνευση και συναγερμός παραβίασης θερμοκηπίου [2], [11]

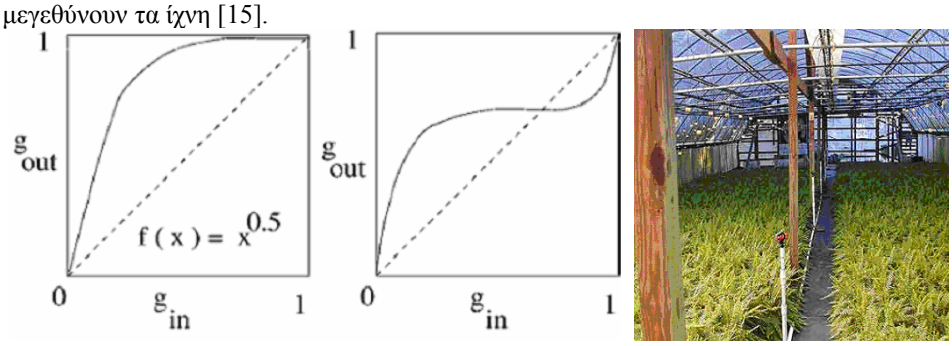
Σχήμα 9. Προβλήματα επεξεργασίας εικόνας και ανάδειξης χαρακτηριστικών σε θερμοκήπιο

Για την ανίχνευση και ***συναγερμό*** παραβίασης του θερμοκηπίου (intruder alarm) χρησιμοποιούνται τεχνικές αφαίρεσης διαδοχικών frames video [2], [11] και συνέλιξης μάσκας ανθρώπινης φιγούρας ή προσώπου με παράλληλη χειροκίνητη λειτουργία του συστήματος (επιτήρηση από φύλακα). Η επιτυχία αυτόματου συναγερμού μπορεί να φτάσει το 94% [7]. Παρόμοιες τεχνικές χρησιμοποιούνται για ανίχνευση μικρών και μεγάλων καταστροφών δομής θερμοκηπίου και για έλεγχο ακεραιότητας, βλ. σχ. 9.

5. ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΕΙΚΟΝΑΣ

Όταν οι αρχικές εικόνες είναι σκοτεινές, η διόρθωση-γ με $f(x)=x^{0.5}$ αναδεικνύει τα σκοτεινά περισσότερο από τα φωτεινά pixels και διακρίνονται πιο καθαρά τα διάφορα αντικείμενα (φυτά, καρποί, έντομα, κ.λ.π.) της εικόνας, βλ. σχ. 10, με τεχνικές μαλακών ή σκληρών ορίων (thresholding) , βλ. σχ. 11.

Μία άλλη τεχνική ανάδειξης εικόνας είναι οι υφάνσεις (textures) αποτελούνται από οργανωμένα (textons), επηρεάζεται δε από τον φωτισμό, την ανακλαστικότητα των επιφανειών, κ.λ.π. Στην τμηματοποίηση εγχρώμων εικόνων ορισμένα χρώματα μεγεθύνουν τα ίχνη [15].



Σχήμα 10. Προβλήματα φωτισμού -βάθους σε περιβάλλον θερμοκηπίου

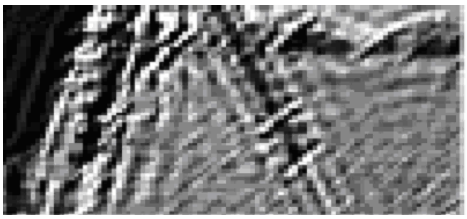
Η ασάφεια (blur) και η υποβάθμιση (degradation) της εικόνας, προκαλούνται από:

- κίνηση κατά την σύλληψη (image capture)
- μεγάλη ή μικρή έκθεση του φίλμ (exposure time, χρόνος διαφράγματος)
- μη εστιασμένα (out-of-focus) οπτικά
- χρήση ευρυγώνειων φακών
- ατμοσφαιρικές παρεμβολές
- διάχυση φωτός, κ.λ.π.

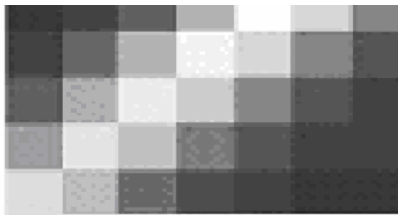
Ανίχνευση ακμών (edge detection)

Ασάφεια (blur, degradation) της εικόνας

Σχήμα 11. Κλασσικά προβλήματα ενίσχυσης εικόνας σε περιβάλλον θερμοκηπίου



Restored Image



Restored PSF

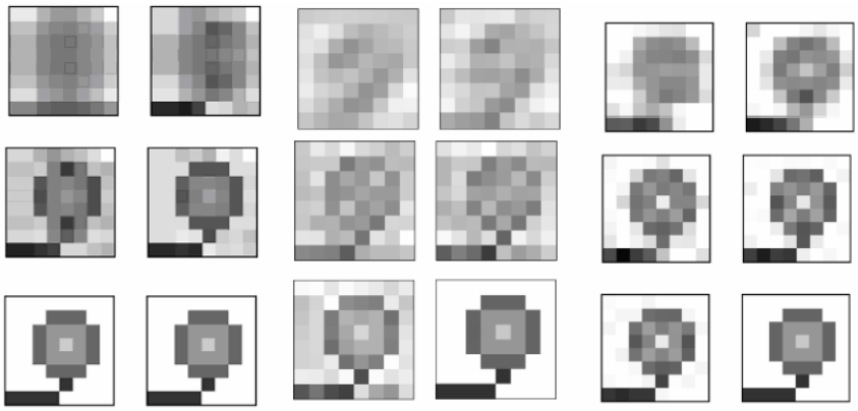
Σχήμα 12. Προβλήματα ασαφούς εικόνας και αποσαφήνισης της

Το μοντέλο αποσαφήνισης (deblurring) μίας ασαφούς εικόνας περιγράφεται μαθηματικά σαν: $\mathbf{g} = \mathbf{Hf} + \mathbf{n}$, όπου $\mathbf{g}$ = η ασαφής εικόνα $\mathbf{f}$ = η αρχική σωστή εικόνα, **H** = ο τελεστής παραμόρφωσης (distortion operator), που ονομάζεται και σημειακή συνάρτηση απλώματος (point spread function, PSF). Η συνάρτηση αυτή συνελίσσεται με την εικόνα και παράγει την παραμορφωμένη εικόνα, βλ. σχ. 12.
n = ο πρόσθετος θόρυβος διάβρωσης της εικόνας.

Η αποσαφήνιση ασαφών εικόνων γίνεται με επαναληπτικές παραμετρικές τεχνικές και φίλτρα (deconvolution), απομάκρυνση του θορύβου (artifacts) και αναδεικνύοντας παλαιά και κρυμμένα χαρακτηριστικά της αρχικής εικόνας, προϋποθέτει κάποια ελάχιστη γνώση των χαρακτηριστικών συχνότητας της εικόνας και του πρόσθετου θορύβου. Χωρίς θόρυβο αρκεί κάποιο αντίστροφο φίλτρο. Η αποσαφήνιση γίνεται χρησιμοποιώντας μία PSF συνάρτηση για θόλωση / αποσαφήνιση της εικόνας. Η ακριβής γνώση της PSF συνάρτησης βοηθά στην αποσαφήνιση της εικόνας με την χρήση συνέλιξης, δηλ:

- μείωση της επίδρασης της ενίσχυσης θορύβου (από camera ή από background)
- βελτίωση της μη ομοιόμορφης ποιότητας εικόνας (λάθος pixels, επίπεδο πεδίο κ.λ.π.)
- βελτίωση διακριτικής ικανότητας αποκατασταθείσης εικόνας

Χρησιμοποιούνται φίλτρα (damping) για να μειωθεί ο θόρυβος υψηλών συχνοτήτων (***ringing***) κατά την αποκατάσταση (restoration) της εικόνας [15].



Σχήμα 13. Ιδιο-εικόνες (eigen images) κατάλληλες για ανίχνευση χαρακτηριστικών φυτών

6. ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Ένα θερμοκήπιο παρουσιάζει πολυπλοκότητα και ποικιλία εικόνων και η αυτοματοποίηση των αναγκών παρακολούθησης με τεχνικές επεξεργασίας εικόνας απαιτεί αξιοπιστία αποτελεσμάτων [5], [6], [7]. Η εκπαίδευση ενός τέτοιου συστήματος είναι τελικά πολύ δύσκολη και η δική μας αρχική προσέγγιση είναι ο παραλληλισμός του αυτόματου με το χειροκίνητο σύστημα επιτήρησης [12], [13], [14]. Η εκπαίδευση μπορεί να συνεχισθεί επί αόριστον με αυτό-εκπαίδευση ενός Έμπειρου συστήματος. Εστιάζουμε περισσότερο σε καταστάσεις όπου το σύστημα επιτήρησης μπορεί να καταρρεύσει με αντιφατικές ερμηνείες, δράσεις και αποτελέσματα.

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η δημοσίευση καταγράφει τις καλλιεργητικές παραμέτρους ενός θερμοκηπίου και προσπαθεί να τις μετρήσει, διακριβώσει και ελέγξει με τεχνικές επεξεργασίας σήματος και εικόνας.. Τα παραπάνω διερευνώνται, μελετώνται και προγραμματίζονται στα πλαίσια των δραστηριοτήτων του Μεταπτυχιακού προγράμματος και του Εργαστηρίου Επεξεργασίας Σήματος και Εικόνας του ΤΕΙ Λάρισας, του Τμήματος Τεχνολογίας Πληροφορικής & Τηλεπικοινωνιών και της ενασχόλησης των Μεταπτυχιακών φοιτητών μας με εφαρμοσμένη Επεξεργασία Εικόνας σε εικόνες και video πλαίσια (frames) και προβλήματα από γεωργικά περιβάλλοντα. Η εργασία συμπεριλαμβάνει συναγερμούς καταστάσεων, παρακολούθηση καιρού και συνθηκών φωτισμού, άρδευσης, διαχείρισης λιπασμάτων, ανάπτυξης και ωρίμανσης φυτών, κ.λ.π. [10]. Έχουν μελετηθεί off-line αλγόριθμοι ανίχνευσης των παραπάνω προβλημάτων και μελετάται τεχνολογία για την on-line υλοποίηση τους. Η εργασία αυτή επιβεβαιώνει την δυνατότητα παρακολούθησης των διεργασιών και δραστηριοτήτων σε ένα θερμοκήπιο.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Argus Controls, Irrigation and Fertilization Controls, *Argus System*, 1998
2. Dracos, G, Motion Detection Algorithms, Semester MSc Assignment, MSc in Computer Science, ATEI Larissa – Staffordshire University, Larissa, 2006
3. Gavish Software & Equipment, *Advanced Greenhouse Control Systems*, 1998
4. Hashimoto, Y, Nonami, H, *The Computerized Greenhouse: Automatic Control Application in Plant Production*, Academic Press, March 1993

5. Kapsalis A.V., Gravanis F.T. & Gowen S.R. (2002). Nematode entomopathogenic symbiotic bacteria acting as biological agents against tomato seedlings fungal pathogens. *Proceedings of the BCPC Conference* - Pests & Diseases 2002. **Vol. 2**: 749 – 752, Brighton, U.K.
6. Katsoulas, N., Kittas, C., Dimokas, G., Lykas, Ch., 2006. Effect of irrigation frequency on rose flower production and quality. *Biosystems Engineering*, 93(2): 237-244.
7. Kittas C., Boulard T., Papadakis G. Natural ventilation of a greenhouse with ridge and side openings. Sensitivity to temperature and wind effects. *Transactions of the ASAE*, 1997, Vol 40, No 2, 415-425.
8. Kokkinos, K, Mastorodimos, G, A New Compression Algorithm for Image Processing, Larissa, paper to appear, 2007
9. Κουμαρίδης Δημήτριος, *Η επεξεργασία σήματος στα ραντάρ συνθετικής απεικόνισης - εφαρμογές*, Πτυχιακή εργασία, ΑΤΕΙ Λάρισας, ΣΤΕΦ, Τμήμα Τεχνολογίας Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών,Λάρισα 2004
10. Sigrimis, N, Fillipopoulos C, Optimal Greenhouse Controller, *AMSE Conference Proceedings*, Athens 1984
11. Spanou Irene, *Face recognition system*, Semester MSc Assignment, MSc in Computer Science, ATEI Larissa – Staffordshire University, Larissa, 2006
12. Yokogawa Hokushin Electric Co, Skyfarm, 1987, *YEW*, Tokyo, Japan
13. Ventzas D. E, *Control Systems I, II, III*, Lecture Notes, TEI Lamia, Dpt. Electronics Eng, Lamia, Greece, 1995
14. Ventzas D. E, MC68HC11 microcontroller control of a greenhouse environment as a time delay system, *IFAC 1998: Workshop on Applications of Automatic Control and Ergonomics on Agriculture*, 1998, Athens
15. Ventzas, D, *Signal Processing,* Lecture Notes, TEI Larissa, 2005
16. Ventzas, D, *Image Processing*. Lecture Notes for MSc in Computer Science,, TEI Larissa, 2007.

(208)

ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΣΤΟ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΜΕΝΟΥ ΤΟΞΩΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ

Κ. Μπαξεβάνου[1], Θ. Μπαρτζάνας[1], Δ. Φείδαρος[1], Κ. Κίττας[1,2]
[1]Ινστιτούτο Τεχνολογίας και Διαχείρισης Αγροοικοσυστημάτων, Κέντρο Έρευνας, Τεχνολογίας και Ανάπτυξης Θεσσαλίας, Τεχνολογικό Πάρκο Θεσσαλίας, 1η Βιομηχανική Περιοχή, 38500 Βόλος, baxevanou@uth.gr, bartzanas@cereteth.gr
[2]Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών και Ελέγχου Περιβάλλοντος, Οδός Φυτόκου, 38446, Ν. Ιωνία Μαγνησίας, ckittas@uth.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Διερευνάται αριθμητικά η κατανομή της ηλιακής ακτινοβολίας στο εσωτερικό ενός τροποποιημένου τοξωτού θερμοκηπίου με συνεχή πλαϊνά κατακόρυφα ανοίγματα αερισμού και καλλιέργειας τομάτας. Σε δυσδιάστατο μοντέλο πραγματοποιείται παραμετρική μελέτη για διαφορετικές γωνίες πρόσπτωσης. Η εμφάνιση ανακυκλοφοριών λόγω θερμικής άνωσης αναδεικνύει ως σημαντική την επίδραση της φυσικής συναγωγής παρά τη δεσπόζουσα εξαναγκασμένη συναγωγή του εισερχόμενου εξωτερικού αέρα, από τα ανοίγματα αερισμού.

SOLAR RADIATION DISTRIBUTION IN A TUNNEL GREENHOUSE – A CFD STUDY

Catherine Baxevanou[1], Dimitrios Fidaros[1], Thomas Bartzanas[1], Constantinos Kittas[1,2]
[1]Center for Research and Technology of Thessaly, Institute of Technology and Management of Agricultural Ecosystems, Technology Park of Thessaly, 1st Industrial Area, 38500 Volos, baxevanou@uth.gr, bartzanas@cereteth.gr
[2]University of Thessaly, Department of Agriculture, Crop Production and Agricultural Environment, Fytokou St., N. Ionia, GR-38446, Magnisia, Greece

ABSTRACT

The effect of solar radiation distribution in an arc type tunnel greenhouse equipped with continuous side vents was numerically investigated. Based on the meteorological data of October, a parametric study was carried out for different solar radiation incidence angle. The results show the influence of the incidence angle of the incoming solar on the distribution of solar radiation inside the greenhouse. The flow recirculation due to buoyancy effect shows the importance of internal temperature gradients although the dominance of the forced convection resulted from natural ventilation.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ηλιακή ακτινοβολία αποτελεί τη βασικότερη παράμετρο για την ανάπτυξη των φυτών, καθώς αποτελεί την πηγή ενέργειας τόσο για τη φωτοσύνθεση των φυτών όσο και για τη θέρμανση του εσωτερικού περιβάλλοντος.

Η κατανομή της ηλιακής ακτινοβολίας στο εσωτερικό ενός θερμοκηπίου εξαρτάται κυρίως από τη γεωμετρία και τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά του θερμοκηπίου, τον χρησιμοποιούμενο εξοπλισμό, τη γεωμετρία της καλλιέργειας καθώς επίσης και από τις οπτικές ιδιότητες του υλικού κάλυψης του θερμοκηπίου. Η κατανομή λοιπόν της ηλιακής ακτινοβολίας στο εσωτερικό των θερμοκηπίων δεν είναι ομοιογενής και αυτή η ετερογένεια επηρεάζει σημαντικά τις φυσιολογικές δραστηριότητες της καλλιέργειας, κυρίως τη διαπνοή και τη φωτοσύνθεση.

Οι περισσότερες προσπάθειες διερεύνησης της κατανομής της ηλιακής ακτινοβολίας στο εσωτερικό θερμοκηπίων χρησιμοποιούν αναλυτικές μεθόδους και συνήθως αδυνατούν να συμπεριλάβουν στους υπολογισμούς όλους εκείνους τους παράγοντες που επηρεάζουν την κατανομή της ηλιακής ακτινοβολίας και αναφέρθηκαν στην προηγούμενη παράγραφο. Έτσι, η κατανομή της ηλιακής ακτινοβολίας διερευνήθηκε πειραματικά από τους Kurata et al. [1], και Tourdonnet et al. [2], ενώ η ανομοιόμορφη κατανομή της επιβεβαιώθηκε και πειραματικά από τους Graham et al, [3] και Wang and Boulard [4]. Οι Tragmar et al. [5] χρησιμοποιώντας γεωστατιστικές μεθόδους βρήκαν ότι υπάρχουν διακριτές ζώνες υψηλών και χαμηλών τιμών της φωτοσυνθετικά ενεργού ακτινοβολίας (PAR), μέσα στο θερμοκήπιο λόγω της σκίασης από το σκελετό του θερμοκηπίου, τον υπερκείμενο εξοπλισμό και την καλλιέργεια. Ο Vougioukas [6] παρουσίασε έναν αριθμητικό αλγόριθμο ο οποίος υπολογίζει την κατανομή της ακτινοβολίας στο εσωτερικό του θερμοκηπίου και ο οποίος βασίζεται σε ένα γενικό προσομοίωμα ακτινοβολίας παρόμοιο με αυτά που χρησιμοποιούνται σε υπολογιστικές γραφιστικές εφαρμογές [7].

Σε όλες όμως τις παραπάνω εργασίες διερευνάται μόνο η κατανομή της ηλιακής ακτινοβολίας χωρίς να λαμβάνεται υπόψη η επίδραση που έχει η ετερογένεια της κατανομής της στο μικροκλίμα του θερμοκηπίου. Οι αναλυτικές λύσεις που χρησιμοποιήθηκαν ως επί το πλείστον για τη διερεύνηση της κατανομής της ακτινοβολίας δεν μπορούν να συμπεριλάβουν και τη κατανομή των υπολοίπων βαθμωτών μεταβλητών ενώ είναι και πολύ δύσκολο να μετρηθούν αυτές οι παράμετροι πειραματικά.

Η εξέλιξη των υπολογιστικών συστημάτων, όμως, κατέστησε εφικτή τη χρήση αριθμητικών μεθόδων στη προσομοίωση των ροών. Η χρήση των μεθόδων της υπολογιστικής ρευστομηχανικής (Computational Fluid Dynamics, CFD) παρέχει τη δυνατότητα εξέτασης διαφόρων μεταβλητών, φυσικών διεργασιών χωρίς την ανάγκη χρονοβόρων και πολυέξοδων πειραμάτων. Η μέθοδος βρήκε γρήγορα εφαρμογή και στα αγροτικά κτίρια. Οι αριθμητικές μέθοδοι έχουν χρησιμοποιηθεί με επιτυχία και για την προσομοίωση του φυσικού αερισμού σε ανοιχτά [8-10] και κλειστά θερμοκήπια [11] σε κτηνοτροφικά κτίρια [12] για τον υπολογισμό φορτίων ανέμου σε τοξωτό θερμοκήπιο [13], για τη διερεύνηση των δικτύων εντομοστεγανότητας στο μικροκλίμα θερμοκηπίων [14] και για τη διερεύνηση των ιδιοτήτων των υλικών κάλυψης θερμοκηπίων [15].

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιείται ένας εμπορικός κώδικάς υπολογιστικής ρευστοδυναμικής για τη διερεύνηση της κατανομής της ακτινοβολίας και του μικροκλίματος στο εσωτερικό ενός τροποποιημένου τοξωτού θερμοκηπίου με καλλιέργεια τομάτας.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1 Το αριθμητικό προσομοίωμα

Οι προσομοιώσεις πραγματοποιήθηκαν με τη βοήθεια ενός εμπορικού κώδικα υπολογιστικής ρευστοδυναμικής, Fluent [16] ο οποίος προσαρμόστηκε κατάλληλα για είναι λειτουργικός σε περιβάλλον θερμοκηπίου. Η ροή εντός του θερμοκηπίου θεωρήθηκε δυσδιάστατη (2D), μόνιμη, ασυμπίεστη και τυρβώδης. Τα φαινόμενα ροής και μεταφοράς θερμότητας περιγράφονται από τις εξισώσεις Navier-Stokes. Οι Reynolds Averaged Navier-Stokes εξισώσεις για τη συνέχεια, την ορμή και τη μεταφορά ενέργειας έχουν αναλυθεί και σε προηγούμενες εργασίες [8-14] και δεν θα αναλυθούν στην παρούσα εργασία. Προκειμένου να ληφθεί υπόψη η επίδραση της φυσικής συναγωγής η μεταβολή της πυκνότητας λαμβάνεται υπόψη χρησιμοποιώντας το μοντέλο Boussinesq. Η χρήση του μοντέλου αυτού προσφέρει ταχύτερη σύγκλιση. Σε αυτό το μοντέλο η πυκνότητα θεωρείται σταθερή (ανεξάρτητη της θερμοκρασίας) σε όλες τις εξισώσεις εκτός από αυτή με την οποία υπολογίζουμε τον όρο πηγής της εξίσωσης ορμής που αντιστοιχεί στη θερμική άνωση.

Προκειμένου να προσομοιώσουμε την επίδραση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας στο κάλυμμα χρησιμοποιείται το μοντέλο ακτινοβολίας διακριτής κατεύθυνσης (Discrete Ordinates – DO). Το μοντέλο αυτό επιτρέπει την προσομοίωση ημι-περατών τοιχωμάτων. Είναι δυνατό να χρησιμοποιηθεί λαμβάνοντας υπόψη τη μεταβολή της ακτινοβολίας και των οπτικών ιδιοτήτων για διαφορετικά μήκη κύματος. Έτσι λοιπόν είναι κατάλληλο για την προσομοίωση συμπεριφοράς υλικών των οποίων οι οπτικές ιδιότητες μεταβάλλονται με το μήκος κύματος και η λειτουργικότητά τους οφείλεται σε αυτό ακριβώς το γεγονός, ορίζοντας για αυτά φασματικούς συντελεστές.

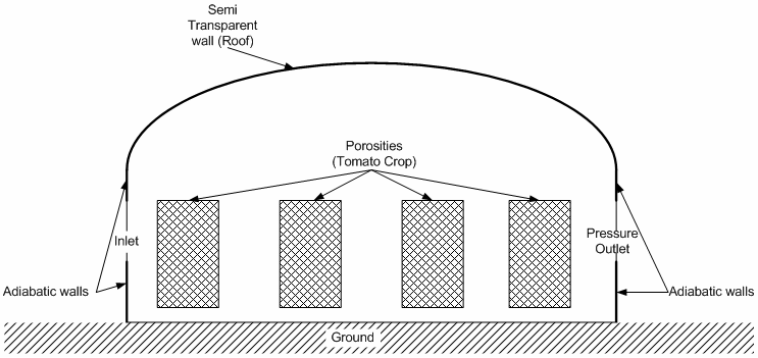
Το μοντέλο ακτινοβολίας DO επιλύει μια εξίσωση μεταφοράς ακτινοβολίας για πεπερασμένο αριθμό διακριτών στερεών γωνιών, η κάθε μια από τις οποίες σχετίζεται με συγκεκριμένη σταθερή κατεύθυνση $\vec{s}$ στο γενικό καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων. Έτσι η εξίσωση μεταφοράς ακτινοβολίας μετατρέπεται σε μια γενική εξίσωση μεταφοράς της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας στις χωρικές συντεταγμένες (x,y,z). Το μοντέλο DO λύνει τόσες εξισώσεις μεταφορές όσες είναι και οι επιλεγμένες διευθύνσεις $\vec{s}$ [2-4]. Η εξίσωση μεταφοράς για τη φασματικής ένταση ακτινοβολίας, $I_\lambda\left(\vec{\mathbf{r}},\vec{\mathbf{s}}\right)$ δίνεται στην ακόλουθη μορφή:

$$\nabla\left(I_\lambda\left(\vec{\mathbf{r}},\vec{\mathbf{s}}\right)\vec{\mathbf{s}}\right)+\left(\alpha_\lambda+\sigma_s\right)I_\lambda\left(\vec{\mathbf{r}},\vec{\mathbf{s}}\right)=\alpha_\lambda n^2 I_{b\lambda}+\frac{\sigma_s}{4\pi}\int_0^{4\pi} I_\lambda\left(\vec{\mathbf{r}},\vec{\mathbf{s}}'\right)\Phi\left(\vec{\mathbf{s}}\cdot\vec{\mathbf{s}}'\right)d\Omega' \qquad (1)$$

Ο συντελεστής διάθλασης, ο συντελεστής σκέδασης και η φασματική συνάρτηση, Φ, θεωρούνται ανεξάρτητες από το μήκος κύματος. Η φασματική συνάρτηση, Φ, θεωρείται ισοτροπική. Η στερεή γωνία 4π σε κάθε σημείο του χώρου διακριτοποιείται σε $N_\theta x N_\varphi$ στερεές γωνίες ω_i, οι οποίες ονομάζονται γωνίες ελέγχου. Οι γωνίες θ και φ είναι η πολική και αζιμουθιακή γωνία και μετρούνται ως προς το καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων (x,y,z). Στη δική μας περίπτωση χρησιμοποιείται μια διακριτοποίηση 3x3. Αν και στην εξίσωση αυτή ο συντελεστής διάθλασης λαμβάνεται μονάδα, ωστόσο για τον υπολογισμό της ακτινοβολίας μέλανος σώματος καθώς και για την τιμή των οριακών συνθηκών που επιβάλλονται στη διεπιφάνεια ημι-περατού τοίχου και ρευστού λαμβάνεται υπόψη η πραγματική φασματική τιμή του συντελεστή διάθλασης.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί χρησιμοποιήθηκε ο εμπορικός κώδικας Fluent, ο οποίος χρησιμοποιήθηκε ως βάση [16] και στον οποίο ενσωματώθηκε εξωτερικός κώδικας για διάφορα υπο-μοντέλα και οριακές συνθήκες (σε γλώσσα C). Οι σχετικές εξισώσεις επιλύονται αριθμητικά με τη μέθοδο των πεπερασμένων όγκων χρησιμοποιώντας ένα διδιάστατο δομημένο πλέγμα αποτελούμενο από 20.000 κελιά. Για τη ζεύξη της

εξίσωσης συνέχειας με τις εξισώσεις ορμής χρησιμοποιήθηκε ο αλγόριθμος SIMPLE [15]. Οι όροι συναγωγής στις RANS εξισώσεις μεταφοράς διακριτοποιήθηκαν χρησιμοποιώντας το σχήμα SOU και για τους όρους διάχυσης χρησιμοποιήθηκαν κεντρικές διαφορές. Η τύρβη περιγράφεται από το k – ε προσομοίωμα μοντέλο δύο εξισώσεων [17]. Το κριτήριο σύγκλισης τέθηκε στο 10^{-7} για τις εξισώσεις συνέχειας, ορμής και τύρβης και στο 10^{-8} για τις εξισώσεις της ενέργειας και της ακτινοβολίας. Η υπόθεση αναφοράς που εξετάστηκε αφορά ένα θερμοκήπιο τύπου τούνελ με τη γεωμετρία που φαίνεται στο *Σχήμα 1*.



Σχήμα 1. Γεωμετρία του πεδίου ροής θερμοκηπίου τύπου τούνελ

Από το αριστερό άνοιγμα εισέρχεται αέρας με δεδομένη καθ ύψος κατανομή, ένταση τύρβης 3% και θερμοκρασίας 289.2 K. Ως καθ ύψος κατανομή για την ταχύτητα του εισερχόμενου ρεύματος αέρα λαμβάνεται αυτή που αντιστοιχεί σε πλήρως αναπτυγμένη τύρβη σύμφωνα με τον εκθετικό νόμο.. Στο δεξιό άνοιγμα εφαρμόζεται ως οριακή συνθήκη εξόδου σταθερή κλίση πίεσης. Το κάλυμμα θεωρείται τοίχος πεπερασμένου πάχους από ημι-διαφανές υλικό. Συνεπώς θεωρείται στερεό μέσα στο οποίο επιλύεται η εξίσωση μεταφοράς θερμότητας λόγω αγωγής. Στο εξωτερικό όριο του στερεού καλύμματος εφαρμόζεται μικτή οριακή συνθήκη (συνδυασμός ακτινοβολίας και συναγωγής). Η ίδια οριακή συνθήκη εφαρμόζεται και στο εσωτερικό όριο του στερεού καλύμματος και υπάρχει σύζευξη μεταξύ των περιοχών στερεού και ρευστού. Οι πλαϊνοί τοίχοι θεωρούνται αδιαβατικές και αδιαφανείς επιφάνειες διάχυσης. Το έδαφος θεωρείται αδιάφανες και ακτινοβολούσα επιφάνεια διάχυσης. Τα φυτά προσομοιώνονται με πορώδη υλικά τα οποία εμφανίζουν στο πεδίο ροής ιξώδη και αδρανειακή αντίσταση [16].

Πίνακας 1 Παραμετρική μελέτη ηλιακής γωνίας

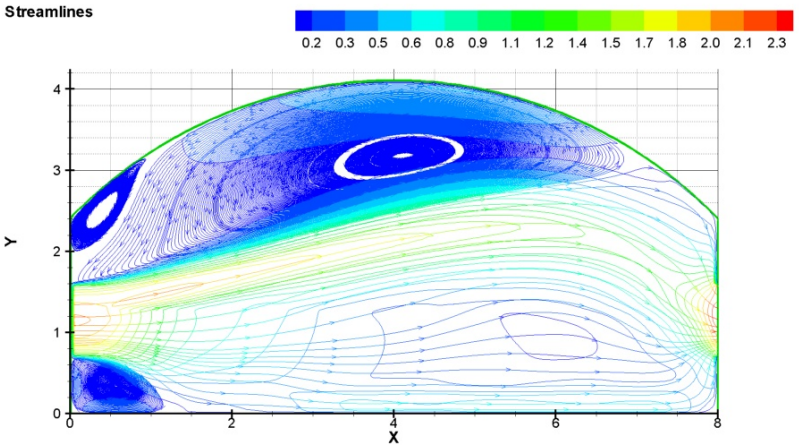
Περίπτωση	Ένταση ηλιακής ακτινοβολίας [W/m^2]			Ηλιακή γωνία [^{o}]
	UV	PAR	NIR	
Περίπτωση 1	16.56	132.5	116	-60
Περίπτωση 2 (Αναφοράς)	33.75	270	236	-30
Περίπτωση 3	40	320	280	0
Περίπτωση 4	33.75	270	236	30
Περίπτωση 5	16.56	132.5	116	60

Η παραμετρική μελέτη που επιλύεται αφορά μια τυπική μέρα του Οκτωβρίου στην περιοχή του Βόλου και τη μελέτη 5 ηλιακών γωνιών. Η προσπίπτουσα ακτινοβολία κατανέμεται σε τρεις κλάσεις μήκους κύματος. την υπεριώδη (λ=0.01 – 0.4 μm - UV),

την ορατή (ή περιοχή ενεργής φωτοσύνθεσης -PAR) (λ=0.4 – 0.76μm) και την περιοχή κοντά στην υπέρυθρη ακτινοβολία (λ=0.76 - 1.1μm – NIR). Στον πίνακα 1 δίνεται η ολική ωριαία προσπίπτουσα ακτινοβολία ανά περιοχή μήκους κύματος. Σε όλες τις περιπτώσεις θεωρείται ότι η διάχυτη ακτινοβολία εκπροσωπεί ένα 24% της συνολικής ακτινοβολίας.

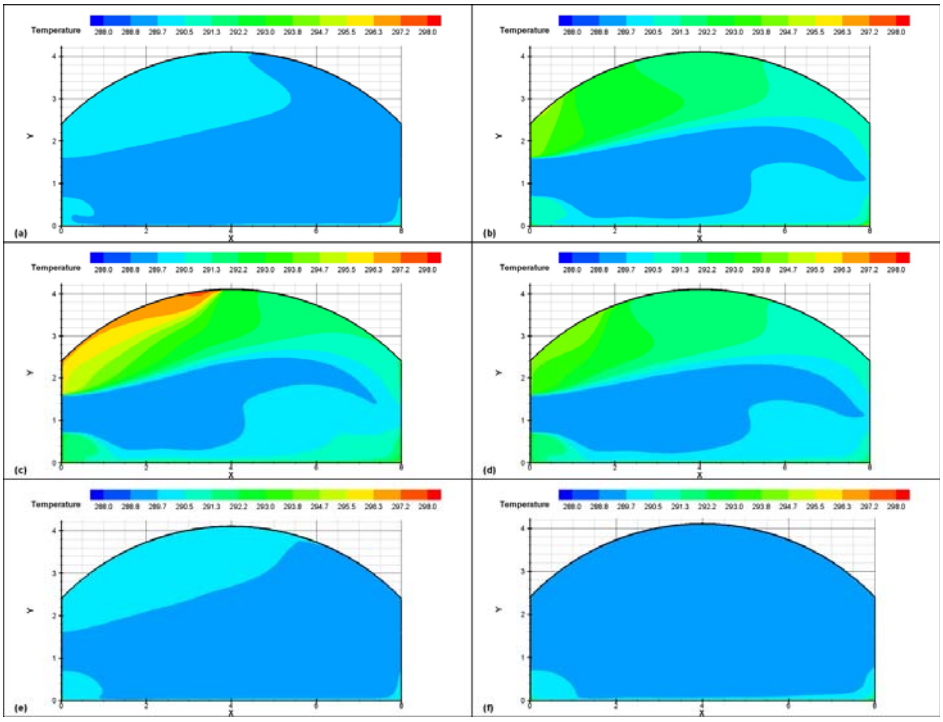
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Στο *Σχήμα 2* παρουσιάζεται το πεδίο των γραμμών ροής της υπόθεσης αναφοράς. Το βασικό χαρακτηριστικό της ροής είναι η ισχυρή συναγωγή που επιβάλει το εισερχόμενο ρεύμα αέρα. Η ροή 'αποσβένεται' από τα φυτά και διαχωρίζεται σε δύο ρεύματα. Το κύριο από τα δύο ρεύματα, το πιο ισχυρό, περνάει πάνω από τα φυτά ενώ το δευτερεύον, και πιο αργό, από κάτω. Οι ταχύτητες μέσα στην πορώδη περιοχή που προσομοιώνει την ύπαρξη των φυτών, μειώνεται λόγω ιξώδους και αδρανειακής αντίστασης. Τρεις βασικές ανακυκλοφορίες παρατηρούνται. Οι δύο από αυτές εμφανίζονται στις άνω και κάτω γωνίες της πλευράς εισόδου παγιδεύοντας μικρές ποσότητες ρευστού. Η τρίτη, εγκαθίσταται ανάμεσα στο κάλυμμα και στο κύριο ρεύμα της ροής. Παίζει σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση του συνολικού πεδίου ροής και θερμοκρασίας (όπως θα φανεί αργότερα), καθώς διαχωρίζει το συνολικό πεδίο σε δύο διακριτές περιοχές. Το εκτεταμένο μέγεθος της συγκεκριμένης ανακυκλοφορίας οφείλεται στη δισδιάστατη προσέγγιση του προβλήματος. Αυτό αντιστοιχεί σε θερμοκήπιο με συνεχή πλαϊνά κατακόρυφα ανοίγματα αερισμού.



Σχήμα 2. Γραμμές ροικής συνάρτησης εντός θερμοκηπίου για την υπόθεση αναφοράς

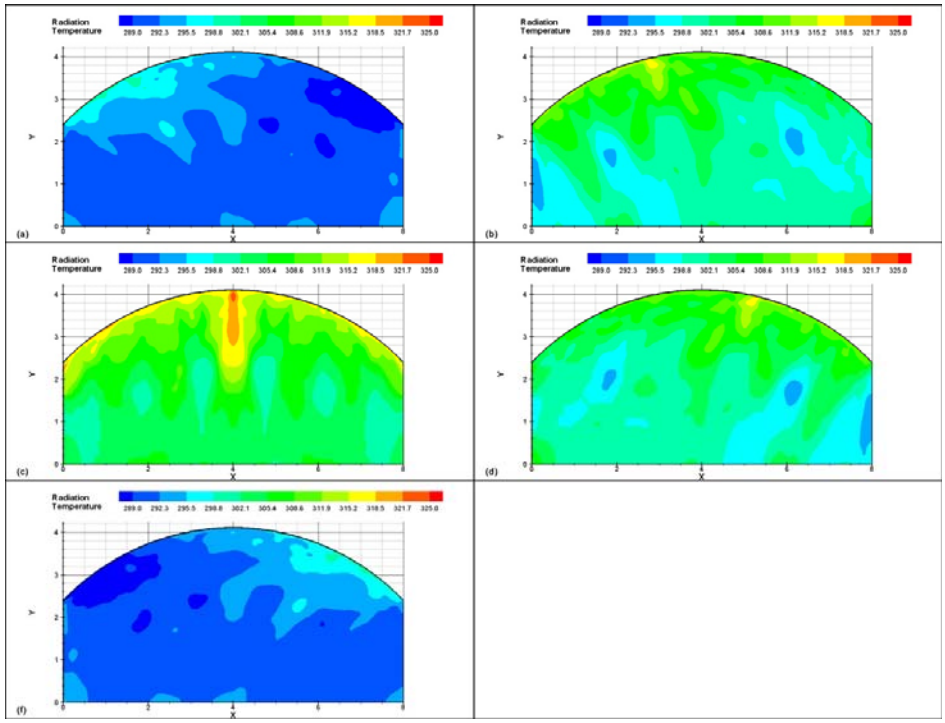
Στο *Σχήμα 3* δίνονται οι ισοϋψείς θερμοκρασίας για τις πέντε τιμές της ηλιακής γωνίας της παραμετρικής μελέτης (πίνακας 1) συν μια επιπλέον περίπτωση κατά την οποία δεν εφαρμόζεται καθόλου το μοντέλο ακτινοβολίας Ο κύριος μηχανισμός μεταφοράς θερμότητας είναι η εξαναγκασμένη συναγωγή. Στην περίπτωση (f), η θερμοκρασία του εισερχόμενου ρεύματος κυριαρχεί σε όλο το πεδίο εκτός από τις περιοχές πολύ κοντά στο έδαφος και στις κάτω γωνίες των πλαϊνών τοιχωμάτων, όπου η τιμή της επηρεάζεται από το θερμότερο έδαφος λόγω των χαμηλών ταχυτήτων της ανακυκλοφορίας.



Σχήμα 3. Ισοϋψείς θερμοκρασίας για διαφορετικές ηλιακές γωνίες (a-e) a) - 60o, b) - 30o, c) 0o, d) 30o, e) 60o και f) χωρίς μοντέλο ακτινοβολίας.

Σε όλες τις περιπτώσεις (a-e), υπάρχει ένας, σχεδόν αναλλοίωτος, βασικός πυρήνας ροής, ενώ η θερμοκρασία, συνολικά, δε δείχνει να μεταβάλλεται σημαντικά. Σε κάθε περίπτωση η ύπαρξη της ακτινοβολίας προκαλεί αύξηση της θερμοκρασίας σε μικρές περιοχές κοντά στο κάλυμμα εντός της μεγάλης ανακυκλοφορίας ανάλογα με την ένταση της ακτινοβολίας και τη γωνία πρόσπτωσης. Περιπτώσεις με ίδια ισχύ προσπίπτουσας ακτινοβολίας αλλά συμμετρικές γωνίες πρόσπτωσης παρουσιάζουν παρόμοια αλλά όχι ίδια θερμοκρασιακά πεδία λόγω της επίδρασης των δυνάμεων θερμικής άνωσης. Όσο υψηλότερη είναι η ένταση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας τόσο εντονότερη είναι η διαφοροποίηση του θερμοκρασιακού πεδίου κοντά στο κάλυμμα.

Στο *Σχήμα 4* παρουσιάζονται οι ισουψείς της ισοδύναμης θερμοκρασίας ακτινοβολίας για τις περιπτώσεις (a-e). Ως ισοδύναμη θερμοκρασία ακτινοβολίας ορίζεται η θερμοκρασία με την οποία μέλαν σώμα θα ακτινοβολούσε την ίδια ποσότητα ενέργειας. Αυτές οι ισουψείς αποκαλύπτουν τη σημαντική επίδραση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας στις εξεταζόμενες περιπτώσεις. Δεδομένου ότι οι διαφορές θερμοκρασίας εντός του θερμοκηπίου είναι σχετικά μικρές, οι κατανομές αυτές δίνουν ένα μέτρο της εισερχόμενης ακτινοβολίας μέσα στο θερμοκήπιο Η τιμή της ισοδύναμης θερμοκρασίας είναι ανάλογη με αυτή της έντασης της ακτινοβολίας που περνάει από κάθε σημείο. Περιπτώσεις με συμμετρικές ηλιακές γωνίες παρουσιάζουν σχεδόν συμμετρικές ισουψείς.



Σχήμα 4. Ισοϋψείς ισοδύναμης θερμοκρασίας ακτινοβολίας για διαφορετικές ηλιακές γωνίες (a-e) a) – 60°, b) -30°, c) 0°, d) 30° και e) 60°

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Προσομοιώθηκε επιτυχώς η ροή εντός θερμοκηπίου τύπου τούνελ με πλήρως ανοιχτά τα πλαϊνά ανοίγματα σε όλο το μήκος του, χρησιμοποιώντας την μέθοδο των πεπερασμένων όγκων και το μοντέλο DO για την ακτινοβολία. Στη ροή αναγνωρίζεται η επίδραση τριών κύριων παραγόντων: το ισχυρό ρεύμα εισόδου αέρα από το πλαϊνό άνοιγμα, την παρουσία φυτών τα οποία συμπεριφέρονται ως πορώδη εμπόδια και τη μεγάλη ανακυκλοφορία κοντά στο κάλυμμα όπου οι δυνάμεις θερμικής άνωσης, προερχόμενες από την εισερχόμενη ακτινοβολία παίζουν σημαντικό ρόλο. Η επίδραση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας για ηλιακές γωνίες μεγαλύτερες των 60 ^{o} είναι μικρή. Η προσπίπτουσα ακτινοβολία επηρεάζει η ροή κυρίως μέσα στη μεγάλη ανακυκλοφορία και η επίδρασή της εξαρτάται και από την ισχύ της ακτινοβολίας και από τη γωνία πρόσπτωσης.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Kurata, K., Quan, Z. and Nunomura, O., 1991. Optimal shapes of parallel East-West oriented single span tunnels with respect to direct light transmissivity. *J. Agric. Eng. Res*. 48: 89-100
2. Tourdonnet, S., Meynard, J.M., Lafolie, F., Roger-Estrade, J., Lagier, J. and Seillotte, M., 2001. Non-uniformity pf environmental conditions in greenhouse lettuce production increases the risk of N pollution and lower product quality. *Agronomie,* 21: 297-309

3. Graham, E.D., Dube, P.A. and Phenix, M., 1990. Measurement of natural irradiance in greenhouses: the effect of averaging period and number of sensors on measurement reliability. *Biotronics*, 19: 83-91
4. Wang, S. and Boulard T., 2000. Measurements and prediction of solar radiation distribution in full scale greenhouse tunnels. *Agronomie*, 20: 41-50
5. Trangmar, B.B., Yost, R.S. and Uehara G., 1985. Application of geostatistics to spatial studies of soil properties. *Adv. Agronomie*, 38: 45-91
6. Vougioukas, S. 2004. Multi-spectrum Global Illumination Computation For Greenhouse Applications. Proc. 2nd HAICTA Intl. Conference on Information Systems & Innovative Technologies in Agriculture, Food and Environment. Thessaloniki, Greece 18-20 March. Vol. 1, pp. 47-56.
7. Cohen, M. and Greenberg, D.1985. The Hemi-cube: A Radiosity Solution for Complex Environments. Computer Graphics (SIGGRAPH '85 Proc.), 22:31-40.
8. Campen, J.B. and Bot, G.P.A., 2003. Determination of Greenhouse-speci.c Aspects of Ventilation using Three-dimensional Computational Fluid Dynamics. *Biosystems Engineering*, 84 (1): 69-77.
9. Mistriotis, A., Bot, G., P., A., Picuno, P. and Scarascia, Mugnozza, G., 1997 Analysis of the efficiency of greenhouse ventilation with computational fluid dynamics. *Agric. For. Meteorol,* 85, 317-328.
10. Bartzanas, T., Kittas, C. and Boulard, T., 2004. Effect of vent arrangement on windward ventilation of a tunnel greenhouse. *Biosystems Engineering* 88 (4): 479-490.
11. Boulard T., Haxaire R., Lamrani M. A., Roy J. C., Jaffrin A., 1999. Characterization and Modelling of the Air Fluxes induced by Natural Ventilation in a Greenhouse. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 74: 135-144.
12. Sapounas, A.A., Nikita – Martzopoulou, Ch., Martzopoulos, G., 2004, "Computational Modeling of Ventilation Process in a Naturally Ventilated Experimental Livestock Building", International symposium of the CIGR, New Trends in farm Buildings, May 2004, Evora, Portugal
13. Mistriotis, A., Briassoulis D., 2002. Numerical estimation of the internal and external aerodynamic coefficients of a tunnel greenhouse structure with openings. *Computers and Electronics in Agriculture*, 34: 191 – 205
14. Bartzanas, T., Boulard, T., Kittas, C., 2002. Numerical simulation of airflow and temperature distribution in a tunnel greenhouse equipped with a insect - proof screen on the openings. *Computers and Electronics in Agriculture*, 34: 207 – 221.
15. Briassoulis, D., 2004. Mechanical Design Requirements for Low Tunnel Biodegradable and Conventional Films. *Biosystems Engineering,* 87 (2): 209-223
16. Fluent, FLUENT, v.5, Fluent Europe Ltd, Sheffield, UK, 1998.
17. Launder, B. E. and Spalding, D. B., 1974. The numerical computation of turbulent flows. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 3: 269-289

(209)

ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΗΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΚΛΕΙΣΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ

N. Tadj[1,3], Θ. Μπαρτζάνας[2], B .Draoui[1] και K. Κίττας[2,3]
[1] University Center of Bechar Institute of Exact Sciences, BP 417 08000 Bechar, Algeria Sciences, BP 417 08000 Bechar, Algeria, tadjnacima@gmail.com
[2]Κέντρο Έρευνας, Τεχνολογίας και Ανάπτυξης Θεσσαλίας, Ινστιτούτο Τεχνολογίας και Διαχείρισης Αγροοικοσυστημάτων, Τεχνολογικό Πάρκο Θεσσαλίας, 1η Βιομηχανική Περιοχή, 38500 Βόλος, bartzanas@cereteth.gr
[3]Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Γεωπονίας, Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών και Ελέγχου Περιβάλλοντος, Οδός Φυτόκου, 38446, N. Ιωνία Μαγνησίας, ckittas@uth.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Διερευνάται αριθμητικά. η θέρμανση του θερμοκηπίου με σύστημα επιδαπέδιων σωληνώσεων ή/και εξαναγκασμένου αερισμού, μεμονωμένα και σε συνδυασμένη λειτουργία όπου η συνισταμένη ροή είναι μια σύνθεση εξαναγκασμένης και φυσικής συναγωγής. Από τα αποτελέσματα εξάγονται χρήσιμα συμπεράσματα για την επίδραση των συστημάτων θέρμανσης στην διαμόρφωση των επιθυμητών συνθηκών στο εσωτερικό του θερμοκηπίου, τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν με σκοπό τη ορθολογική διαχείριση των συστημάτων αλλά και της βελτίωσης του σχεδιασμού τους.

NUMERICAL SIMULATION OF GREENHOUSE HEATING

N. Tadj[1,3], Θ. Μπαρτζάνας[2], B .Draoui[1] και K. Κίττας[2,3]
[1] University Center of Bechar Institute of Exact Sciences, BP 417 08000 Bechar, Algeria Sciences, BP 417 08000 Bechar, Algeria
[2] Centre for Research and Technology – Thessaly, Institute of Technology and Agricultural Ecosystems, Technological Park of Thessaly, 1st Idustrial Area of Volos, 38500 Volos, Greece, bartzanas@cereteth.gr
[3] University of Thessaly, Sch. of Agricultural Sc., Dept. of Agriculture Crop Prod. & Rural Env., Fytokou Str, 38446, N. Ionia Magnesias, ckittas@uth.gr

ABSTRACT

Internal convective flows generated in a closed greenhouse by heating systems were numerically studied. Heat was provided by a network of heating pipes or an air heater and by their combination. Results show the influence of the selected heating system on greenhouse microclimate and they can be used in order to improve their design and management.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η θέρμανση των θερμοκηπίων είναι απαραίτητη για ένα μεγάλο τμήμα του έτους στα θερμοκήπια της μεσογειακής λεκάνης προκείμενου να διατηρηθούν οι κλιματικές συνθήκες στο εσωτερικό τους σε επιθυμητά επίπεδα για τη βέλτιστη αύξηση και ανάπτυξη των καλλιεργειών.

Τα περισσότερα θερμοκήπια στην Ελλάδα χρησιμοποιούν ως σύστημα θέρμανσης είτε τους επιδαπέδιους σωλήνες μέσω των οποίων με την ανακυκλοφορία ζεστού νερού θερμαίνεται το περιβάλλον του θερμοκηπίου, είτε αερόθερμα, είτε το συνδυασμό των δύο προηγούμενων συστημάτων θέρμανσης. Ο σχεδιασμός η θέση αλλά και ο τρόπος διαχείρισης των συστημάτων θέρμανσης καθορίζει σε σημαντικό βαθμό το μικροκλίμα του θερμοκηπίου κατά τη διάρκεια της χειμερινής περιόδου. Η διαχείριση των συστημάτων γίνεται είτε εμπειρικά από τον παραγωγό είτε στην καλύτερη των περιπτώσεων με τη βοήθεια απλών λογισμικών προσομοίωσης τα οποία όμως υιοθετούν την παραδοχή του ενιαίου μικροκλίματος στο εσωτερικό του θερμοκηπίου (Perfectly-Stirred-Tank, approach), [1]. Στην πραγματικότητα όμως καμία από τις κλιματικές παραμέτρους στο εσωτερικό του θερμοκηπίου δεν έχει ενιαία τιμή, αλλά αντιθέτως μεταβάλλονται ανάλογα με τον χρησιμοποιούμενο εξοπλισμό, την γεωμετρία του θερμοκηπίου και την καλλιέργεια. Είναι γνωστό ότι ακόμη και σε ένα καλά σχεδιασμένο θερμοκήπιο παρατηρούνται μεταβολές στην κατανομή της θερμοκρασίας έως και 5 °C [2]. Η γνώση της κατανομής του μικροκλίματος στο εσωτερικό των θερμοκηπίων είναι πλέον απαραίτητη για την παραγωγή προϊόντων ποιότητας με μειωμένες εισροές.

Οι εργασίες που έχουν γίνει σχετικά με την επίδραση των συστημάτων θέρμανσης, εξετάζουν κυρίως την κατανομή της θερμότητας στο χώρο του θερμοκηπίου και κυρίως πως αυτή κατανέμεται στο περιβάλλον των φυτών, ενώ αρκετές είναι αυτές οι οποίες συγκρίνουν τα δύο κυριότερα είδη θέρμανσης του θερμοκηπίου (επιδαπέδιους σωλήνες και αερόθερμα), [3-5]. Η θέση των σωλήνων θέρμανσης εξετάστηκε από τον Popovski [5], ο οποίος διαπίστωσε ότι η τοποθέτηση των σωλήνων σε χαμηλά επίπεδα κοντά στην περιοχή των φυτών πλεονεκτεί.. Στο ίδιο συμπέρασμα κατέληξαν και οι Teitel και Tanny [6], οι οποίοι επίσης προτείνουν την τοποθέτηση των σωλήνων κοντά στο έδαφος ή στο μέσο του επιπέδου των φυτών. Η επίδραση των σωλήνων θέρμανσης στην κατακόρυφη κατανομή της θερμοκρασίας στο εσωτερικό του θερμοκηπίου διερευνήθηκε πειραματικά από τους Kempkes et al. [7] και Kittas et al. [8], οι οποίοι βρήκαν σημαντικές διαφορές στην κατακόρυφη κατανομή της θερμοκρασίας στο εσωτερικό του θερμοκηπίου το οποίο θερμαίνεται από επιδαπέδιους σωλήνες. Οι Boulard et al. [9] διερεύνησαν πειραματικά τις ροές αέρα και θερμοκρασίας, που δημιουργούνταν λόγω των φαινομένων άνωσης και σημείωσαν ότι οι μεγαλύτερες διαβαθμίσεις στις τιμές της θερμοκρασίας παρατηρούνται κοντά στο έδαφος και την οροφή του θερμοκηπίου, ενώ η τιμή της θερμοκρασίας παρέμενε σταθερή και αμετάβλητη στον υπόλοιπο όγκο του θερμοκηπίου. Σε μια σύγκριση μεταξύ των δύο συστημάτων (επιδαπέδιοι σωλήνες και αερόθερμο) οι Teitel et al. [10] καταλήγουν ότι με τη χρήση του αερόθερμου η θερμοκρασία της καλλιέργειας ήταν χαμηλότερη από αυτή του περιβάλλοντος αέρα, ενώ με τους επιδαπέδιους σωλήνες ήταν υψηλότερη. Σε παρόμοια συμπεράσματα κατέληξαν και οι Bartzanas et al. [11], οι οποίοι προσδιόρισαν και τον ολικό συντελεστή απωλειών θερμότητας του θερμοκηπίου για τα δύο συστήματα θέρμανσης και ο οποίος ήταν 19% μεγαλύτερος στην περίπτωση που το θερμοκηπίου θερμαινόταν με το συνδυασμό των επιδαπέδιων σωλήνων και του αερόθερμου, από ότι αν θερμαινόταν μόνο με επιδάπεδιους σωλήνες. Τέλος οι Meneses και Montero [12] ανάφεραν σημαντικές θερμοβαθμίδες κατά μήκος του θερμοκηπίου που θερμαινόταν μόνο με αερόθερμο.

Κατά τη διάρκεια της τελευταίας δεκαετίας, η πρόσφατη πρόοδος στην η εισαγωγή των μεθόδων υπολογιστικής ρευστοδυναμικής στον τομέα των αγροτικών κατασκευών [13-16] επέτρεψε την διερεύνηση της ετερογένειας του θερμοκηπιακού μικροκλίματος ανάλογα με το χρησιμοποιούμενο εξοπλισμό και έδωσε στους ερευνητές την δυνατότητα εξέτασης διαφορετικών παραμέτρων που επηρεάζουν το μικροκλίμα του θερμοκηπίου. Γνωρίζοντας την τιμή αλλά και την κατανομή στο εσωτερικό του θερμοκηπίου αυτών των μεταβλητών μπορούμε να διαχειριστούμε τον εξοπλισμό του θερμοκηπίου με τρόπο που να μας δώσει τα επιθυμητά αποτελέσματα.

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η διερεύνηση της κατανομής του θερμοκηπιακού μικροκλίματος σε θερμοκήπιο με καλλιέργεια τομάτας, με τη χρησιμοποίηση αριθμητικών μεθόδων, το οποίο θερμαίνεται:

(α) μόνο με επιδαπέδιους σωλήνες

(β) μόνο με αερόθερμο

(γ) με το συνδυασμό επιδαπέδιων σωλήνων και αερόθερμου

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1. Το θερμοκήπιο και η καλλιέργεια

Το θερμοκήπιο για το οποίο πραγματοποιήθηκαν οι προσομοιώσεις ήταν ένα από τα πειραματικά θερμοκήπια του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας. Πρόκειται για ένα τροποποιημένο τοξωτό θερμοκήπιο με μήκος 20 m, πλάτος 8 m, ύψος ορθοστάτη 2.4 m και ύψος κορφιά 4.1 m. Η θέρμανση του θερμοκηπίου γινόταν από ένα δίκτυο σωληνώσεων ζεστού νερού ενώ συμπληρωματικά υπήρχε και αξονικό αερόθερμο, τοποθετημένο σε απόσταση 2.5 m από το έδαφος του θερμοκηπίου. Το δίκτυο των σωλήνων ήταν τοποθετημένο σε απόσταση 10 cm από την επιφάνεια του εδάφους και αποτελούντων από μια γραμμή προσαγωγής ζεστού νερού και μια γραμμή επιστροφής για κάθε σειρά της καλλιέργειας. Η επιθυμητή θερμοκρασία ήταν 21 °C κατά τη διάρκεια της ημέρας και 15 °C κατά τη διάρκεια της νύχτας. Στο εσωτερικό του θερμοκηπίου υπήρχε καλλιέργεια τομάτας σε υπόστρωμα περλίτη. Το ύψος της καλλιέργειας που χρησιμοποιήθηκε στις προσομοιώσεις ήταν 1.5 m.

2.2. Το αριθμητικό προσομοίωμα

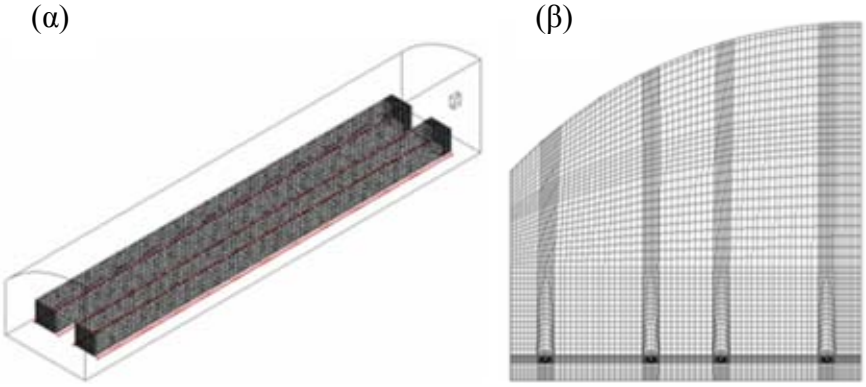
Οι προσομοιώσεις πραγματοποιήθηκαν με τη βοήθεια ενός εμπορικού κώδικα υπολογιστικής ρευστοδυναμικής, CFX-5, ο οποίος προσαρμόστηκε κατάλληλα για είναι λειτουργικός σε περιβάλλον θερμοκηπίου. Το CFX-5 [17] είναι ένα από τα πλέον εξελιγμένα προγράμματα υπολογιστικής ρευστοδυναμικής. Βασίζεται στην ευελιξία των μη δομημένων πλεγμάτων και δίνει τη δυνατότητα αποτύπωσης της γεωμετρίας και κατασκευής των πλεγμάτων σε ιδιαιτέρα φιλικό προς το χρήστη περιβάλλον. Το πρόγραμμα εφαρμόζοντας μέθοδο αυτόματης προσαρμογής του πλέγματος στις περιοχές μέγιστων μεταβολών (automated grid adaptation) βελτιστοποιεί την ποιότητα του πλέγματος και συντομεύει τη συνολική διαδικασία επίλυσης πολύπλοκων προβλημάτων (*Σχήμα 1*).

Χρησιμοποιήθηκε τρισδιάστατο μοντέλο ενώ έγινε και υιοθέτηση των συμμετρικών συνθηκών (*Σχήμα 1*). Η επίδραση εξωτερικών παραγόντων στη ροή, όπως η ταχύτητα του ανέμου, η ηλιακή ακτινοβολία, και η θερμοκρασία, ενσωματώνονται στις αντίστοιχες οριακές συνθήκες, ενώ η καλλιέργεια στο εσωτερικό του θερμοκηπίου προσομοιώθηκε ως πορώδες υλικό. Η τυρβώδης δυναμική περιγράφεται με το k – ε προσομοίωμα τύρβης [18] ενώ η μεταβολή της πυκνότητας του αέρα λόγω των μεταβολών της θερμοκρασίας έγινε υιοθετώντας το μοντέλο Boussinesq [17].

Για τον καθορισμό ρεαλιστικών οριακών συνθηκών χρησιμοποιήθηκαν τιμές από πειραματικές μετρήσεις οι οποίες πραγματοποιήθηκαν στο ίδιο θερμοκήπιο με τον ίδιο

εξοπλισμό [19]. Οι οριακές συνθήκες που χρησιμοποιήθηκαν αντιπροσωπεύουν το μέσο όρο των παραμέτρων για ένα χρονικό διάστημα δέκα ημερών (πίνακας 1).

(α) (β)



Σχήμα 1. Γεωμετρία του τρισδιάστατου υπολογιστικού πεδίου (α) και λεπτομέρεια πλέγματος του υπολογιστικού πεδίου (β)

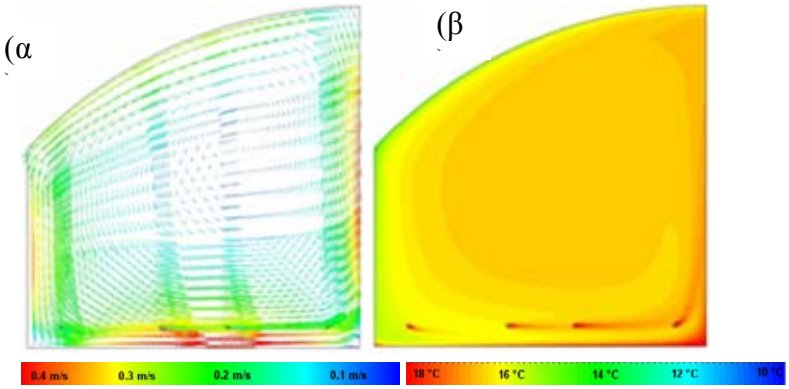
Πίνακας 1. Οριακές συνθήκες που χρησιμοποιήθηκαν στις προσομοιώσεις

Παράμετρος	Τιμή
Θερμοκρασία	
Οροφής	10, °C
Εδάφους	22, °C
Σωλήνων θέρμανσης	60, °C
Αέρα κατά την έξοδο του από το αερόθερμο	52, °C
Ταχύτητα αέρα κατά την έξοδο του από το αερόθερμο	3, m/s
Πυκνότητα αέρα	1,185, kg/m^3
Ειδική θερμότητα αέρα	1004,4, J/kg K
Θερμική αγωγιμότητα αέρα	0,0261, W/m^2 K
Διαπερατότητα καλλιέργειας	0,395
Συντελεστής απώλειας ορμής καλλιέργειας	0,2

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Σε ένα θερμαινόμενο θερμοκήπιο η κίνηση του αέρα στο εσωτερικό του προκαλείται λόγω των φαινόμενων άνωσης αποτέλεσμα της διαφοράς της πυκνότητας του αέρα λόγω θερμοκρασιακών μεταβολών. Το *Σχήμα 2 (α)* παρουσιάζει τα διανύσματα της ταχύτητας του αέρα σε θερμοκήπιο το οποίο θερμαίνεται μόνο με επιδαπέδιους σωλήνες. Όπως προκύπτει και από το *Σχήμα 2 (α)*, ο αέρας θερμαινόμενος από τους επιδαπέδιους σωλήνες οδηγείται προς την οροφή του θερμοκηπίου και στην συνέχεια μέσω των πλευρικών τοιχωμάτων τα οποία βρίσκονται σε χαμηλότερη θερμοκρασία από αυτόν οδηγείται ξανά προς το έδαφος του θερμοκηπίου διαγράφοντας δύο συμμετρικούς βρόγχους. Λόγω των συμμετρικών συνθηκών που υιοθετήθηκαν στις προσομοιώσεις παρουσιάζεται η τομή του μισού θερμοκηπίου στην οποία φαίνεται ο ένας από τους δύο βρόγχους. Το *Σχήμα 2 (β)* παρουσιάζει την κατανομή της θερμοκρασίας για το ίδιο σύστημα θέρμανσης όπου και φαίνεται πως η θερμοκρασία του αέρα μειώνεται καθώς απομακρυνόμαστε από το επίπεδο που είναι οι σωλήνες θέρμανσης, παραμένει σταθερή στο μεγαλύτερο τμήμα του θερμοκηπίου για να μειωθεί εκ νέου και πάλι πριν την οροφή του θερμοκηπίου. Σε ανάλογα συμπεράσματα για την

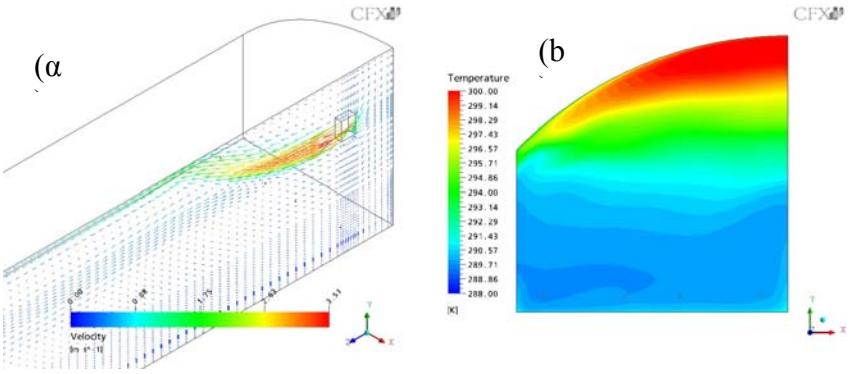
κατανομή της θερμοκρασίας και ταχύτητας του αέρα σε θερμοκήπιο που θερμαίνεται από το έδαφος είχαν καταλήξει και οι Boulard et al. [9].



Σχήμα 2. Κατανομή των διανυσμάτων της ταχύτητας του αέρα (α) και της θερμοκρασίας του αέρα (β) σε σε κάθετο επίπεδο στο μέσο του θερμοκηπίου θερμαινόμενο με σύστημα επιδαπέδιων σωλήνων

Στην περίπτωση που η θέρμανση του θερμοκηπίου προέρχεται μόνο από το αερόθερμο η κατανομή των παραμέτρων του μικροκλίματος στο εσωτερικό του θερμοκηπίου τροποποιείται ποιοτικά και ποσοτικά. Το ζεστό ρεύμα αέρα που παράγεται από το αερόθερμο κοντά στην οροφή του θερμοκηπίου έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της ταχύτητας του αέρα και της θερμοκρασίας του κοντά στην οροφή του θερμοκηπίου. Το ζεστό ρεύμα από το αερόθερμο κατευθύνεται προς το απέναντι άκρο του θερμοκηπίου, όπου συναντώντας το ψυχρό τοίχωμα του θερμοκηπίου οδηγείται προς την επιφάνεια των φυτών. Τμήμα του ζεστού ρεύματος του αέρα, οδηγείται σταδιακά προς το έδαφος του θερμοκηπίου κατά την πορεία της κίνησης του, καθώς η θερμοκρασία που μειώνεται όπως απομακρυνόμαστε από το σημείο που βρίσκεται το αερόθερμο και έτσι ο ψυχρός αέρας υποχωρεί προς το έδαφος του θερμοκηπίου. Στο *Σχήμα 3 (α)* παρουσιάζεται σε οριζόντια τομή στο μέσο του θερμοκηπίου η κατανομή των διανυσμάτων της ταχύτητας του αέρα και στο *Σχήμα 3 (β)* η κατανομή της θερμοκρασίας του στο ίδιο πλάνο.

Στην περίπτωση που το θερμοκήπιο θερμαίνεται από το συνδυασμό των επιδαπέδιων σωλήνων και του αερόθερμου η κατανομή των παραμέτρων του κλίματος είναι πιο ομοιόμορφη καθώς το ζεστό ρεύμα αέρα που παράγεται από το αερόθερμο, κατά την κάθοδο του προς τα κατώτερα στρώματα του θερμοκηπίου (φυτά-έδαφος) λόγω της σταδιακής μείωσης του θερμοκρασίας, συναντά το ζεστό ρεύμα αέρα που οδηγείται προς την οροφή του θερμοκηπίου από το σύστημα των επιδαπέδιων σωλήνων.



Σχήμα 3. Κατανομή των διανυσμάτων της ταχύτητας του αέρα (α) και της θερμοκρασίας του αέρα (β) σε οριζόντιο επίπεδο στο μέσο του θερμοκηπίου θερμαινόμενου με σύστημα επιδαπέδιων σωλήνων και αερόθερμου

Η ταχύτητα του αέρα κοντά στην περιοχή της καλλιέργειας αλλά και η διαφορά θερμοκρασίας καλλιέργειας – αέρα είναι από τις σημαντικότερες παραμέτρους του θερμοκηπιακού μικροκλίματος, αφού καθορίζουν σε σημαντικό βαθμό, τις ανταλλαγές ενέργειας και μάζας μεταξύ της καλλιέργειας και του περιβάλλοντος αέρα.

Ακόμη και στις περιπτώσεις που το θερμοκήπιο είναι κλειστό (δηλαδή όταν θερμαίνεται), η κίνηση του αέρα στο εσωτερικό του είναι επιθυμητή ώστε να υπάρχει μια ικανοποιητική μείξη του εσωτερικού αέρα. Το ρεύμα αέρα το οποίο προερχόταν από το αερόθερμο αύξησε την ταχύτητα του αέρα στο εσωτερικό του θερμοκηπίου. Η μέση ταχύτητα του αέρα στο εσωτερικό του θερμοκηπίου ήταν 0.14 m s^{-1} με τη συνδυασμένη χρήση του αερόθερμου και των επιδαπέδιων σωλήνων και μειωνόταν σε 0.08 m s^{-1} με τη χρήση μόνο των επιδαπέδιων σωλήνων. Ενδεικτικά αναφέρετε πως για μια ταχύτητα του αέρα 0.14 m s^{-1} η αεροδυναμική αντίσταση της καλλιέργειας είναι 750 s m^{-1} ενώ για ταχύτητα 0.08 m s^{-1} είναι 1200 s m^{-1}. Μία τέτοια αύξηση στην αεροδυναμική αντίσταση της καλλιέργειας έχει σαν αποτέλεσμα την μείωση του συντελεστή μεταφοράς θερμότητας από την καλλιέργεια στον αέρα στο ίδιο ποσοστό. Φυσικά σε άλλα επίπεδα στο εσωτερικό του θερμοκηπίου η ταχύτητα του αέρα μεταβαλλόταν ανάλογα με τον χρησιμοποιούμενο εξοπλισμό. Έτσι κοντά στην οροφή του θερμοκηπίου η ταχύτητα του αέρα αποκτούσε μεγαλύτερες τιμές στις περιπτώσεις που χρησιμοποιούνταν και το αερόθερμο.

Όσο αφορά τη μεταβολή της θερμοκρασίας καλλιέργειας αέρα, η μέση τιμή αυτής είχε θετικές τιμές (καλλιέργεια θερμότερη του περιβάλλοντος αέρα) όταν η θέρμανση προερχόταν μόνο από τους επιδαπέδιους σωλήνες (0.3 °C), ενώ όταν λειτουργούσε και το αερόθερμο συγχρόνως με τους επιδαπέδιους σωλήνες η μέση τιμή της διαφοράς θερμοκρασίας ήταν αρνητική (καλλιέργεια ψυχρότερη του περιβάλλοντος αέρα) -0.8 °C. Στην περίπτωση που λειτουργούσε μόνο το αερόθερμο η μέση τιμή της διαφοράς θερμοκρασίας καλλιέργειας – αέρα ήταν -1.3 °C. Η θερμότητα η οποία παρέχεται από τους επιδαπέδιους σωλήνες μεταφέρεται στην καλλιέργεια αλλά και στον αέρα του θερμοκηπίου τόσο με συναγωγή όσο και με ακτινοβολία. Από την παρεχόμενη θερμότητα, μισή συνήθως μεταφέρεται με συναγωγή και μισή με ακτινοβολία. Η θέρμανση όπως είναι φυσικό είναι περισσότερο αποτελεσματική μέσω ακτινοβολίας παρά με συναγωγή και συνεπώς τα φυτά διατηρούν μια θερμοκρασία ανάλογη με αυτή του περιβάλλοντος αέρα. Όταν όμως λειτουργεί και το αερόθερμο, η θερμότητα που παρέχεται στην καλλιέργεια μέσω των επιδαπέδιων σωλήνων και κατά συνέπεια μέσω ακτινοβολίας μειώνεται, ενώ αντίθετα αυξάνεται σημαντικά το ποσό θερμότητας που

μεταφέρεται με συναγωγή, με αποτέλεσμα η καλλιέργεια να είναι πάντα ψυχρότερη από τον περιβάλλοντα αέρα.

Ένας ακόμη σημαντικός παράγοντας για την ορθολογική ρύθμιση του μικροκλίματος των θερμοκηπίων είναι η ετερογένεια στην κατανομή των κλιματικών παραμέτρων στο εσωτερικό του. Η ομοιογένεια της κατανομής της θερμοκρασίας στο εσωτερικό του θερμοκηπίου εξετάστηκε με τη βοήθεια του λόγου της τυπικής απόκλισης της διαφοράς θερμοκρασίας κάθε τιμής από τη μέση τιμή της θερμοκρασίας $\sigma(\Delta T)$ προς τη μέση τιμή $\overline{\Delta T}$. Μικρότερες τιμές του ανωτέρω λόγου οδηγούν σε πιο ομοιόμορφη κατανομή του εξεταζόμενου δείγματος. Όταν θέρμανση του θερμοκηπίου προερχόταν μόνο από επιδαπέδιους σωλήνες η τιμή του ανωτέρω λόγους ήταν 0.65 ενώ, αυξανόταν σε 0.87 με τη χρήση μόνο του αερόθερμου και μειωνόταν σε 0.34 με το συνδυασμό των επιδαπέδιων σωλήνων και του αερόθερμου. Ανάλογη συμπεριφορά ως προς την ομοιογένεια της κατανομής της παρουσίαζε και η ταχύτητα του αέρα.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Με τη χρήση αριθμητικών μεθόδων διερευνήθηκε η επίδραση τριών διαφορετικών συστημάτων θέρμανσης στις κατανομές θερμοκρασίας και ταχύτητας του αέρα σε θερμοκήπιο με καλλιέργεια τομάτας. Η επιλογή του συστήματος θέρμανσης επηρεάζει ποιοτικά και ποσοτικά την κατανομή της θερμοκρασίας και ταχύτητας του αέρα στο εσωτερικό του θερμοκηπίου. Ο συνδυασμός επιδαπέδιων σωλήνων και αερόθερμου οδηγεί σε πιο ομοιογενείς συνθήκες αλλά παράλληλα αυξάνει και την ταχύτητα του αέρα στο εσωτερικό του θερμοκηπίου. Η καλλιέργεια ήταν θερμότερη του περιβάλλοντος αέρα με τη χρησιμοποίηση μόνο των επιδαπέδιων σωλήνων θέρμανσης και ψυχρότερη αυτού όταν χρησιμοποιούνται και το αερόθερμο ή μόνο το αερόθερμο για τη θέρμανση του θερμοκηπίου.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1 Udink ten Cate, A.J., 1980. Remarks on greenhouse climate control. *Acta Horticulturae*, 106: 43-46

2 Bloemhard, C., Esmeijer, M. and Van der Meer M., 1998. Practical implementation of a system to remove climate differences in greenhouses. PBG Naaldwijk ISSN 1385-3015

3 Mavrogianopoulos, G., Choustoulakis, P. and Kyritsis S., 1993. Tomato production in heated and unheated greenhouses. *Agricoltura Mediterranea*: 123:30-34.

4 Baille, A. and von Elsner B., 1988. Low temperature heating systems. In: Energy conservation and renewable energies for greenhouse heating, (von Zabelitz, Chr, ed.). *European Cooperative networks a rural energy, CNRE guideline* No. 2: 149-167.

5 Popovski, K., 1986. Location of heating installations in greenhouses for low temperature heating fluids. In: Industrial thermal effluents for greenhouse heating. Cooperative networks an rural energy, *CNRE guideline* No.15:51-55. Proceedings of CNRE Workshop, Dublin, Ireland. 17-19 September.

6 Teitel, M. and Tanny J., 1998. Radiative Heat Transfer from Heating Tubes in a Greenhouse. *Journal of Agricultural Engineering Research* 69:185-188.

7 Kempkes, F.L.K, Van de Braak, N.J. and Bakker J.C., 2000. Effect of heating system position on vertical distribution of crop temperature and transpiration in greenhouse tomatoes. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 75:57-64.

8 Kittas, C., Katsoulas, N. and Baille A., 2003. Influence of Aluminised Thermal Screens on Greenhouse Microclimate and Night Transpiration. *Transactions of the ASAE*, 46 (6): 1653- 1663
9 Boulard, T., Haxaire, R., Lamrani, M.A., Roy, J.C. and Jaffrin, A., 1999. Characterization and modelling of the air fluxes intuced by natural ventilation in a greenhouse. *Journal of Agricultural Engineering Research* 74: 135-144.
10 Teitel, M., Segal, I., Shklyar, A. and Barak, M., 1999. A comparison between pipe and air heating methods for greenhouses. *Journal of Agricultural Engineering Research* 72: 259-273.
11 Bartzanas, T., Tchamitchian, M. and Kittas, C., 2005. Influence of the heating method on greenhouse microclimate and energy consumption. *Biosystems Engineering*, 91 (4), 487-499
12 Meneses, J. F. and Montero, A A., 1990. Ducted air heating systems in greenhouses: experimental results. *Acta Horticulturae*, 263: 285-292
13 Mistriotis, A., Bot, G. P. A., Picuno, P., Scarascia Mugnozza, G., 1997. Analysis of the efficiency of greenhouse ventilation with computational fluid dynamics. *Agricultural and Forest Meteorology*, 85: 317-328.
14 Reichrath, S. and Davies, T. W, 2002. Using CFD to model the internal climate of greenhouses: past, present and future. *Agronomie*, 22: 3-19.
15 Ould Khaoua, S.A., Bournet, P.E., Migeon, C., Boulard, T. and Chasseriaux, G., 2006. Analysis of Greenhouse Ventilation Efficiency based on Computational Fluid Dynamics. *Biosystems Engineering* 95: 83–98
16 Kittas, C. and Bartzanas, T., 2007. Greenhouse microclimate and dehumidification effectiveness under different ventilator configurations *Building and Environment*, 42 (10): 3774-3784
17 CFX-5, Users Manual, CFX-International, 2001
18 Launder, B. E. and Spalding, D. B., 1974. The numerical computation of turbulent flows. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 3: 269-289
19 Μπαρτζάνας, Θ., 2004. Διαχείριση της υψηλής υγρομετρίας σε ελληνικά θερμοκήπια. Διδακτορική Διατριβή, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, 286 σελ.

(210)

ΟΡΘΟΛΟΓΙΚΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΣΕ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟ ΜΕ ΣΥΝΔΥΑΣΜΕΝΗ ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΚΑΙ ΑΕΡΙΣΜΟΥ

Θ. Μπαρτζάνας[1] και Κ. Κίττας[1,2]

[1] Κέντρο Έρευνας, Τεχνολογίας και Ανάπτυξης Θεσσαλίας, Ινστιτούτο Τεχνολογίας και Διαχείρισης Αγροοικοσυστημάτων, Τεχνολογικό Πάρκο Θεσσαλίας, 1η Βιομηχανική Περιοχή, 38500 Βόλος, bartzanas@cereteth.gr

[2] Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Γεωπονίας, Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών και Ελέγχου Περιβάλλοντος, Οδός Φυτόκου, 38446, Ν. Ιωνία Μαγνησίας, ckittas@uth.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην την εργασία αυτή παρουσιάζεται, και επιβεβαιώνεται πειραματικά, ένα απλό προσομοίωμα εκτίμησης της περιεκτικότητας του αέρα σε υγρασία στο εσωτερικό θερμοκηπίου, η χρήση του οποίου επιτρέπει τη ρύθμιση της υγρασίας έτσι ώστε να αποτρέπεται η δημιουργία συμπυκνώσεων ενώ παράλληλα υπολογίζεται και η απαιτούμενη πρόσθετη ενέργεια που θα απαιτηθεί. Το προτεινόμενο προσομοίωμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ορθολογική διαχείριση της υγρασίας σε θερμοκήπια με στόχο την παραγωγή προϊόντων ποιότητας με μειωμένες εισροές

RATIONAL HUMIDITY MANAGEMENT IN GREENHOUSES USING SIMULTANEOUSLY HEATING AND VENTILATION SYSTEMS

T. Bartzanas[1], and C. Kittas[1,2]

[1] Centre for Research and Technology – Thessaly, Institute of Technology and Agricultural Ecosystems, Technological Park of Thessaly, 1st Idustrial Area of Volos, 38500 Volos, Greece, bartzanas@cereteth.gr

[2] University of Thessaly, Sch. of Agricultural Sc., Dept. of Agriculture Crop Prod. & Rural Env., Fytokou Str, 38446, N. Ionia Magnesias, ckittas@uth.gr

ABSTRACT

In this paper a simple model for the rational management of greenhouse humidity was presented and experimentally validated. With the proposed model air humidity can be adjusted in such levels in order to avoid condensation of air and in addition the energy needed for that action was also calculated. The model can be used for optimum greenhouse climate control in light of integrated production of greenhouse crops.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα που αντιμετωπίζουν οι παραγωγοί θερμοκηπιακών καλλιεργειών, κατά τη διάρκεια του χειμώνα κυρίως, είναι η μείωση των υψηλών επιπέδων υγρασίας. Τα υψηλά επίπεδα υγρασίας επηρεάζουν την αύξηση και ανάπτυξη των καλλιεργειών κυρίως λόγω της δημιουργίας ευνοϊκών συνθηκών για την εμφάνιση και ταχεία εξάπλωση μυκητολογικών ασθενειών [1] καθώς οι περισσότεροι μύκητες απαιτούν μια υγρή επιφάνεια να περιβάλει τα σπόρια τους, έτσι ώστε αυτά να αναπτυχθούν. Η υψηλή υγρασία μπορεί να προκαλέσει μείωση της διαπνοής και φυσιολογικές ανωμαλίες όπως νεκρώσεις φύλλων και τροφοπενίες ασβεστίου [2], ενώ επηρεάζει σημαντικά και την ποιότητα και εμπορική αξία των προϊόντων μετά τη συγκομιδή [3]. Έτσι, το πρόβλημα της ορθολογικής διαχείρισης υγρασίας σε θερμοκήπιο αποτέλεσε και εξακολουθεί να αποτελεί αντικείμενο μελέτης αρκετών ερευνητών.

Σχετικά με την αφύγρανση των θερμοκηπίων, έχουν γίνει εργασίες τόσο για τη βελτιστοποίηση της διαχείρισης της υγρασίας με τη χρήση του κλασικού συστήματος θέρμανσης- αερισμού, όσο και για την ανάπτυξη και εφαρμογή συστημάτων αφύγρανσης με διαφορετική αρχή λειτουργίας. Οι εργασίας βελτιστοποίησης της διαχείρισης του συστήματος αφορούσαν κυρίως τη μοντελοποίηση του ισοζυγίου υδρατμών του αέρα στο εσωτερικό του θερμοκηπίου και στη συνέχεια τον υπολογισμό των βέλτιστων ορίων υγρασίας [4-7]. Οι εργασίες οι οποίες αναφέρονται στην εφαρμογή κάποιου συστήματος διαφορετικού από το κλασικό σύστημα αφύγρανσης αναφέρονται κυρίως στην αφύγρανση: α) με τη χρησιμοποίηση κάποιου υγροσκοπικού υλικού, [8-9], β) με χρήση αντλιών θερμότητας [10-12] και γ) την εξαναγκασμένη εναλλαγή του αέρα με τη βοήθεια συστήματος ανεμιστήρων [6].

Εκτός του συνδυασμένου συστήματος αφύγρανσης (θέρμανση και αερισμός), τα υπόλοιπα συστήματα δε βρήκαν πρακτική εφαρμογή στο χώρο των θερμοκηπίων λόγω διαφόρων παραμέτρων, όπως υψηλή κατανάλωση ενέργειας, μεγάλη ετερογένεια στις κατανομές θερμοκρασίας και υγρασίας, έλλειψη αποτελεσματικότητας, υψηλές ταχύτητες του αέρα στο εσωτερικό του θερμοκηπίου και μείωση της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας, λόγω του μεγάλου μεγέθους των αφυγραντικών μονάδων. Εντούτοις, κατά τη διάρκεια των τελευταίων ετών έγινε κάποια προσπάθεια βελτιστοποίησης του συστήματος αφύγρανσης με χρήση αντλιών θερμότητας χρησιμοποιώντας και αριθμητικές μεθόδους [13-14].

Σήμερα, το πρόβλημα της υψηλής υγρομετρίας εξακολουθεί να αντιμετωπίζεται κυρίως με συνδυασμένη χρήση των συστημάτων θέρμανσης και αερισμού. Η επιλογή ενός κατάλληλου δείκτη, με τον οποίο θα ενεργοποιείται το σύστημα ελέγχου της υγρασίας με τη συνδυασμένη χρήση των συστημάτων θέρμανσης και αερισμού, είναι όχι μόνο κρίσιμη αλλά και δύσκολη. Η επιλογή της πίεσης των υδρατμών του αέρα μπορεί να είναι ένας τέτοιος δείκτης, αφού καθορίζει σε γενικές γραμμές το υδατικό ισοζύγιο στο εσωτερικό του θερμοκηπίου. Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται και επιβεβαιώνεται πειραματικά ένα προσομοίωμα υπολογισμού της πίεσης των υδρατμών του αέρα το οποίο μπορεί να ενσωματωθεί σε λογισμικά ελέγχου του μικροκλίματος θερμοκηπίου και να οδηγήσει σε ορθολογική διαχείριση της υψηλής υγρασίας.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1. Το θερμοκήπιο και η καλλιέργεια

Οι πειραματικές μετρήσεις, πραγματοποιήθηκαν στο αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, στην περιοχή του Βελεστίνου του Νομού Μαγνησίας. Το πειραματικό θερμοκήπιο ήταν ένα τροποποιημένο τοξωτό θερμοκήπιο, με σκελετό από γαλβανισμένο

χάλυβα και κάλυψη με απλό πολυαιθυλένιο και ήταν προσανατολισμένο 36° δεξιόστροφα από τη διεύθυνση Βορράς-Νότος. Το έδαφος του θερμοκηπίου ήταν καλυμμένο με απλό πολυαιθυλένιο έτσι ώστε να αποτρέπεται η εμφάνιση ζιζανίων αλλά και η εξάτμιση από το έδαφος. Το θερμοκήπιο είχε μήκος 20 m και πλάτος 8 m καταλαμβάνοντας συνολικά 160 m^2. Το ύψος του ορθοστάτη ήταν 2.4 m και το ύψος του κορφιά 4.1 m. Το θερμοκήπιο ήταν εξοπλισμένο με συνεχή πλαϊνά ανοίγματα αερισμού διαστάσεων 0.9 m x 15 m. Το ποσοστό των ανοιγμάτων αερισμού (ως προς το καλυμμένο έδαφος) ήταν 16.87 %.

Η καλλιέργεια ήταν υδροπονική καλλιέργεια τομάτας (cv. Beladonna) σε υπόστρωμα περλίτη, με διαστάσεις κάθε σάκου περλίτη 1 m και τοποθετημένοι σε απόσταση 0.5 m από την επιφάνεια του εδάφους. Η καλλιέργεια είχε εγκατασταθεί σε δύο διπλές σειρές με αποστάσεις φύτευσης 0.33 m επί της γραμμής και 0.75 m επί των γραμμών, δίνοντας κατά αυτόν τον τρόπο μία πυκνότητα φυτών 2.5 φυτά / m^2 εδάφους. Η δόση και η συχνότητα άρδευσης καθώς και η ποιότητα του αρδευόμενου διαλύματος ελέγχονταν με ένα αυτοματοποιημένο σύστημα ελέγχου και αναμείξεως των διαλυμάτων μέσω Η/Υ. Το σύστημα ήταν εξοπλισμένο με μικροελεγκτή που ρύθμιζε τις συγκεντρώσεις και τα χαρακτηριστικά του διαλύματος προτού αυτό να διοχετευτεί στα φυτά μέσω των σταλλακτών.

Η θέρμανση του θερμοκηπίου γινόταν από ένα δίκτυο σωληνώσεων ζεστού νερού ενώ συμπληρωματικά υπήρχε και αξονικό αερόθερμο, τοποθετημένο σε απόσταση 2.5 m από το έδαφος του θερμοκηπίου. Το δίκτυο των σωλήνων ήταν τοποθετημένο σε απόσταση 10 cm από την επιφάνεια του εδάφους και αποτελούνταν από μια γραμμή προσαγωγής ζεστού νερού και μια γραμμή επιστροφής για κάθε σειρά της καλλιέργειας. Τόσο το αερόθερμο όσο και το σύστημα των επιδαπέδιων σωληνώσεων τροφοδοτούνταν με ζεστό νερό από τον ίδιο λεβητοκαυστήρα που ήταν τοποθετημένος στο εσωτερικό του θερμοκηπίου. Το σύστημα θέρμανσης ελεγχόταν μέσω του κεντρικού ελεγκτή του κλίματος με βάση ένα αισθητήριο θερμοκρασίας – υγρασίας το οποίο ήταν τοποθετημένο στο μέσο του θερμοκηπίου και σε απόσταση 1.5m από την επιφάνεια του εδάφους. Η επιθυμητή θερμοκρασία ήταν 21 °C κατά τη διάρκεια της ημέρας και 15 °C κατά τη διάρκεια της νύχτας.

2.2. Μετρήσεις

Οι πειραματικές μετρήσεις αφορούσαν:

(α) το εξωτερικό περιβάλλον του θερμοκηπίου στο οποίο καταγραφόταν: η θερμοκρασία και το έλλειμμα κορεσμού του αέρα, η ηλιακή ακτινοβολία, η ταχύτητα και διεύθυνση του ανέμου

(β) το εσωτερικό περιβάλλον του θερμοκηπίου στο οποίο καταγραφόταν: η θερμοκρασία και το έλλειμμα κορεσμού του αέρα, η εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία , η ταχύτητα του αέρα στο εσωτερικό του θερμοκηπίου, η θερμοκρασία τεσσάρων (4) φύλλων από το μέσο όρο των οποίων εξαγόταν η θερμοκρασία της καλλιέργειας, η θερμοκρασία της εσωτερικής επιφάνειας του καλύμματος της οροφής, η διαπνοή της καλλιέργειας με διάταξη λυσιμέτρου, η παροχή ενέργειας από το αερόθερμο και από τους επιδαπέδιους σωλήνες.

(γ) τον προσδιορισμό του ρυθμού ανανέωσης του αέρα του θερμοκηπίου, ο οποίος έγινε χρησιμοποιώντας τη μέθοδο της φθίνουσας συγκέντρωσης ενός αερίου δείκτη.

Για τη συλλογή, την αρχική επεξεργασία και την καταγραφή των δεδομένων χρησιμοποιήθηκε σύστημα συλλογής και καταγραφής δεδομένων (DL 3000, Delta-T Devices, Cambridge, UK). Περισσότερες πληροφορίες για τις μετρήσεις μπορούν να δίνονται από τον Μπαρτζάνα [15].

2.3. Προσομοίωμα προσδιορισμού υγρασία

Η περιεκτικότητα του αέρα σε υδρατμούς στο εσωτερικό του θερμοκηπίου υπολογίστηκε με βάση την εξίσωση:

$$e_i = \frac{\gamma a R_i + h_t e_{is} + h_r e_{rs} + h_v e_o}{h_t + h_r + h_v} \quad (1)$$

όπου: γ είναι η ψυχρομετική σταθερά (kPa °C^{-1}), α είναι η επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας στη διαπνοή, R_i η ηλιακή ακτινοβολία στο εσωτερικό του θερμοκηπίου (W m^{-2}), h_t, h_r και h_v συντελεστές μεταφοράς υδρατμών λόγω διαπνοής, στην επιφάνεια του καλύμματος και λόγω αερισμού αντίστοιχα (W m^{-2} °C^{-1}), e_{is}, e_{rs} και e_o η πίεση των υδρατμών στον κορεσμό στο εσωτερικό του θερμοκηπίου, στην επιφάνεια του καλύμματος και η πίεση υδρατμών του εξωτερικού αέρα αντίστοιχα (kPa).

Η εξίσωση (1) δείχνει τη σχέση της μερικής πίεσης των υδρατμών του εσωτερικού αέρα, άρα και επομένως της υγρασίας του αέρα στο εσωτερικό του θερμοκηπίου από τη διαπνοή, τη ροή αερισμού και το ρυθμό συμπυκνώσεων στην εσωτερική πλευρά του καλύμματος της οροφής. Εάν ο έλεγχος της υγρασίας γίνεται με αερισμό και θέρμανση ταυτόχρονα, τότε η μεταβολή του συντελεστή μεταφοράς θερμότητας λόγω αερισμού (Δhv) που θα χρειαστεί για να επιτύχουμε το επιθυμητό set-point πίεσης υδρατμών (e_s) θα είναι:

$$\Delta h_v = (h_t + h_r + h_v)\frac{(e_i - e_s)}{(e_s - e_o)} \quad (2)$$

όπου: ΔH_v η μεταβολή του συντελεστή μεταφοράς υδρατμών λόγω αερισμού (W m^2 °C^{-1}), e_i και e_s η πίεση των υδρατμών στο εσωτερικό του θερμοκηπίου και η επιθυμητή πίεση των υδρατμών αντίστοιχα (kPa).

Έτσι, εάν μια νέα πίεση υδρατμών επιτευχθεί, λόγω της ταυτόχρονης χρήσης του αερισμού και της θέρμανσης, τότε η επιπλέον ενέργεια ΔHv (W m^{-2}) που απαιτήθηκε θα είναι:

$$\Delta H_v = h_v \frac{(e_s - e_i)}{\gamma} + \Delta h_v (T_i - T_o + \frac{e_s - e_o}{\gamma}) \quad (3)$$

όπου: ΔHv, η επιπλέον ενέργεια που απαιτείται (W m^{-2}), T_i και T_o οι θερμοκρασίες του εσωτερικού και εξωτερικού αέρα (°C)

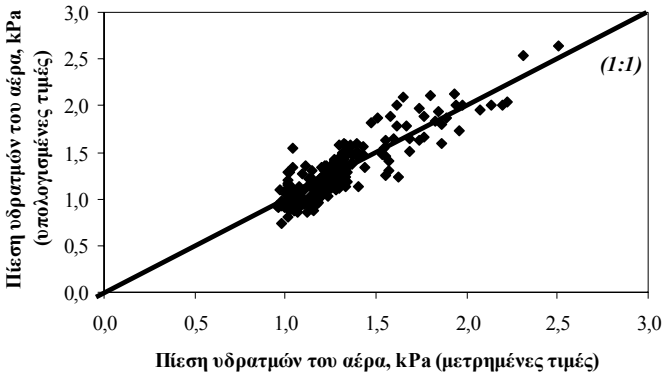
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Η εφαρμογή της μεθόδου έγινε για το χρονικό διάστημα μιας εβδομάδας. Η μέση, η ελάχιστη και η μέγιστη τιμή της θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας του εξωτερικού αέρα καθ'όλη τη διάρκεια της εξεταζόμενης περιόδου παρουσιάζεται στον πίνακα 1. Για το ίδιο χρονικό διάστημα. Η μέση τιμή της θερμοκρασίας του εσωτερικού αέρα ήταν 15.46 °C και η μέση τιμή της σχετικής υγρασίας ήταν 71%, ενώ η μέση τιμή του ελλείμματος κορεσμού του αέρα ήταν 0.56 kPa.

Πίνακας 1. Μέση, ελάχιστη και μέγιστη τιμή της θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας του εξωτερικού αέρα καθ'όλη τη διάρκεια της εξεταζόμενης περιόδου

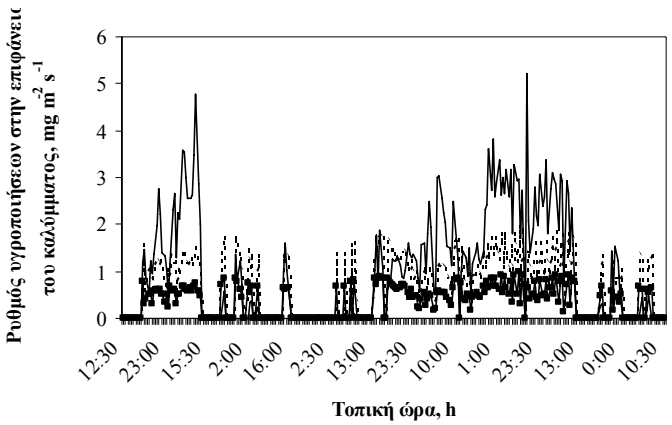
	Μέση	Ελάχιστη	Μέγιστη
Θερμοκρασία, °C	6.46	-2.45	19.8
Σχετική υγρασία, %	74.7	30.5	96.1

Η τιμή της πίεσης των υδρατμών υπολογίστηκε για το χρονικό διάστημα της μίας εβδομάδας, με τη βοήθεια της εξίσωσης 1. Η σύγκριση των μετρημένων και υπολογισμένων τιμών παρουσιάζεται στο *Σχήμα 1*. Η εξίσωση που περιγράφει τη συσχέτιση μεταξύ μετρημένων και υπολογισμένων τιμών είναι της μορφής y = 1.08 x, με συντελεστή συσχέτισης $R^2 = 0.81$.



Σχήμα 1. Μετρημένες και υπολογισμένες τιμές της μερικής πίεσης των υδρατμών στο εσωτερικό του θερμοκηπίου.

Στο *Σχήμα 2* παρουσιάζεται ο ρυθμός υγροποιήσεων στην εσωτερική επιφάνεια του καλύμματος της οροφής για τρεις διαφορετικές περιπτώσεις: α) χωρίς έλεγχο της υγρασίας στο εσωτερικό του θερμοκηπίου, β) καθορισμός επιθυμητού ορίου πίεσης υδρατμών 100 Pa μεγαλύτερο από την τιμή του ελλείμματος κορεσμού στη θερμοκρασία της επιφάνειας του καλύμματος και γ) καθορισμός επιθυμητού ορίου πίεσης υδρατμών 50 Pa, μεγαλύτερο από την τιμή του ελλείμματος κορεσμού στη θερμοκρασία της επιφάνειας του καλύμματος. Ο μέσος όρος του ρυθμού υγροποιήσεων στην επιφάνεια του καλύμματος ήταν 1 mg m^{-2} s^{-1} χωρίς καμία διαχείριση της υγρασίας (α) και μειωνόταν στα 0.68 mg m^{-2} s^{-1} θέτοντας ως επιθυμητή τιμή της πίεσης των υδρατμών την τιμή των 100 Pa, που είναι μεγαλύτερη από αυτή της πίεσης των υδρατμών στον κορεσμό του καλύμματος. Τέλος μειωνόταν στα 0.34 mg m^{-2} s^{-1} θέτοντας ως επιθυμητή τιμή της πίεσης των υδρατμών την τιμή των 50 Pa, που ήταν μεγαλύτερη από αυτή της πίεσης των υδρατμών στον κορεσμό του καλύμματος. Θέτοντας βέβαια ως επιθυμητή τιμή πίεσης των υδρατμών στο εσωτερικό του θερμοκηπίου την πίεση των υδρατμών στον κορεσμό στη θερμοκρασία της επιφάνειας του καλύμματος, ο ρυθμός υγροποιήσεων ήταν μηδενικός.

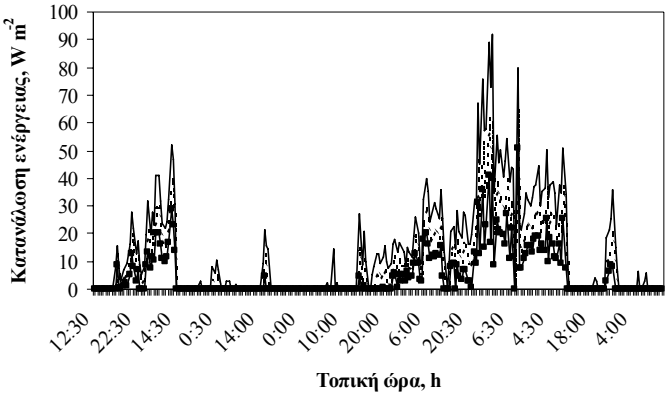


Σχήμα 2. Ρυθμός υγροποιήσεων στην εσωτερική πλευρά του καλύμματος οροφής κατά τη διάρκεια της εξεταζόμενης περιόδου. —— Χωρίς καθορισμό ορίου πίεσης υδρατμών,—■—■— πίεση υδρατμών 50 Pa μεγαλύτερη από την πίεση υδρατμών στον κορεσμό στη θερμοκρασία της επιφάνειας του καλύμματος, - - - - - πίεση υδρατμών 100 Pa μεγαλύτερη από την πίεση υδρατμών στον κορεσμό στη θερμοκρασία της επιφάνειας του καλύμματος

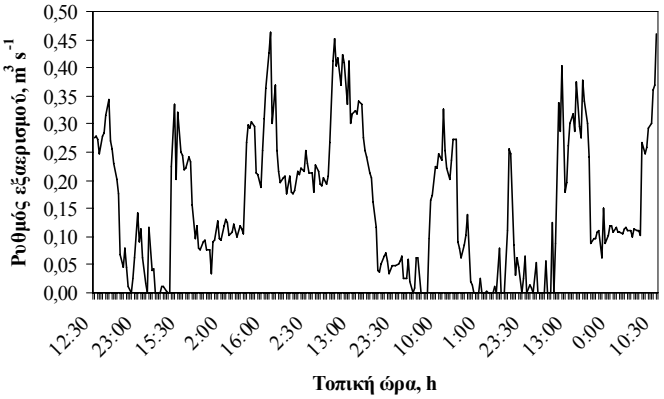
Στο *Σχήμα 3* παρουσιάζεται η επιπρόσθετη ενέργεια που πρέπει να καταναλωθεί προκειμένου η πίεση των υδρατμών στο εσωτερικό του θερμοκηπίου να είναι: α) ίση με την πίεση των υδρατμών στον κορεσμό στη θερμοκρασία του καλύμματος, β) 50 Pa μεγαλύτερη από την πίεση των υδρατμών στον κορεσμό στη θερμοκρασία του καλύμματος και γ) 100 Pa μεγαλύτερη από την πίεση των υδρατμών στον κορεσμό στη θερμοκρασία του καλύμματος. Για την πρώτη περίπτωση, η οποία οδηγεί σε μηδενισμό των υγροποιήσεων στην επιφάνεια του καλύμματος, η πρόσθετη ισχύς που θα πρέπει να καταναλωθεί σε ολόκληρο το διάστημα της εξεταζόμενης περιόδου είναι 0.65 MW. Για τη δεύτερη περίπτωση η πρόσθετη ενέργεια μειώνεται στα 0.43 MW και για την τρίτη στα 0.25 MW. Ενδεικτικά αναφέρεται πως η συνολική ενέργεια που καταναλώθηκε από το σύστημα θέρμανσης κατά την εξεταζόμενη περίοδο, για τη διατήρηση της θερμοκρασίας στα επιθυμητά επίπεδα, ήταν 1.79 MW.

Τέλος, στο *Σχήμα 4* παρουσιάζεται ο απαιτούμενος ρυθμός αερισμού προκειμένου η πίεση των υδρατμών στο εσωτερικό του θερμοκηπίου να είναι ίση με την πίεση των υδρατμών στον κορεσμό στη θερμοκρασία του καλύμματος.

Στη συγκεκριμένη εργασία ως όριο υγρασίας επιλέχτηκε η πίεση των υδρατμών στον κορεσμό της επιφάνειας του καλύμματος οροφής, θεωρώντας πως σε ένα θερμοκήπιο το οποίο θερμαίνεται με σύστημα επιδαπέδιων σωλήνων η θερμοκρασία της καλλιέργειας θα είναι κοντά σε αυτήν του περιβάλλοντος αέρα και επομένως η πιθανότητα υγροποιήσεων απευθείας στην επιφάνεια των φυτών πρέπει να αποκλειστεί, ενώ αντιθέτως υγροποιήσεις μπορούν να συμβούν στην επιφάνεια του καλύμματος της οροφής. Η επιλογή ενός τέτοιου κριτηρίου οδηγεί σε σημαντική αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας μηδενίζει όμως τις υγροποιήσεις στην επιφάνεια του καλύμματος. Αυτό σημαίνει πως περιορίζεται, σε σημαντικό βαθμό, η εμφάνιση μυκητολογικών ασθενειών και κατά συνέπεια η χρήση φυτοπροστατευτικών ουσιών και συνεπώς οδηγούμαστε σε μια παραγωγή προϊόντων υψηλής ποιότητας



Σχήμα 3. Κατανάλωση ενέργειας για την επίτευξη του επιθυμητού ορίου πίεσης υδρατμών κατά τη διάρκεια της εξεταζόμενης περιόδου. —— πίεση υδρατμών ίση με την πίεση υδρατμών , —■—■— πίεση υδρατμών 100 kPa μεγαλύτερη από την πίεση υδρατμών, - - - - - πίεση υδρατμών 50 kPa μεγαλύτερη από την πίεση υδρατμών στον κορεσμό στη θερμοκρασία της επιφάνειας του καλύμματος



Σχήμα 4. Απαιτούμενος ρυθμός ανανέωσης του αέρα κατά τη διάρκεια της εξεταζόμενης περιόδου για την επίτευξη της επιθυμητής πίεσης υδρατμών στο εσωτερικού του θερμοκηπίου

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Με τη μέθοδο υπολογισμού των επιθυμητών ορίων υγρασίας, που προτάθηκε σε αυτή την εργασία, μπορεί να γίνει εκτίμηση αυτής στο εσωτερικό του θερμοκηπίου, έτσι ώστε να αποφευχθούν οι συμπυκνώσεις στην εσωτερική επιφάνεια του καλύμματος της οροφής καθώς επίσης και της πρόσθετης ενέργειας που πρέπει να καταναλωθεί προκειμένου να επιτευχθεί η συγκεκριμένη τιμή. Η ενσωμάτωση ενός προσομοιώματος πρόβλεψης της ανάπτυξης της καλλιέργειας, καθώς και του συνολικού κόστους παραγωγής αλλά και του ενδεχόμενου τελικού οικονομικού αποτελέσματος (κέρδος ή ζημία) σε ένα προσομοίωμα ρύθμισης της υγρασίας θα επιτρέψει τη ορθότερη και πιο ολοκληρωμένη λήψη αποφάσεων για τη ρύθμιση της υγρασίας σε θερμοκήπια

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1 Hand, D.W., 1988. Effects of atmospheric humidity on greenhouse crops. *Acta Horticulturae*, 229:143-158.

2 Bakker, R., 1984. Physiological disorders in cucumber under high humilities conditions and low ventilation rates in greenhouses. *Acta Horticulturae*, 156: 257-164

3 Mortensen, L.M., 1986. Effect of relative humidity on growth and flowering of some greenhouse plants. *Scientia Horticulturae,* 29:301-307

4 Stanghellini, C. and de Jong, T., 1995. A model of humidity and its applications in a greenhouse. *Agricultural and Forest Meteorology,* 76:129-148

5 Jolliet, O., 1993. Hortitrans, a model for predicting and optimizing humidity and transpiration in greenhouses. *Journal of Agricultural Engineering, Research* 57:23-37

6 De Hallaux, D. and Gauthier, L., 1998. Energy consumption due to dehumidification of greenhouses under Northern latitudes. *Journal of Agricultural Engineering Research,* 69: 35–42

7 Campen, J.B. and Bot, G.P.A., and de Zwart H.F., 2003. Dehumidification of Greenhouses at Northern Latitudes. *Biosystems Engineering*, 86 (4): 487-493

8 Peiper U.M., Levav N., Geoola F. and Seginer I., 1987. Experimental evaluation and mathematical model of an hygroscopic greenhouse dehumidifier, Final Research Report. BARD Project I39082, Bet-Dagan, Israel 1987

9 Seginer, I. and Kantz, D., 1989. Night-time use of dehumidifiers in greenhouses: an analysis. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 44: 141–158

10 Boulard, T., Baille, A., Lagier, J., Mermier, M. and Vanderschmitt E., 1989. Water vapour transfer in a plastic house equipped with a dehumidification heat pump. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 44; 191-204

11 Chasseriaux, G., 1987. Heat pumps for reducing humidity in plastics greenhouses. *Plasticulture,* 73: 29–40

12 Rousse, D. R., Martin, D. Y., Theriault, R., Leveillee, F. and Boily R., 2000. Heat recovery in greenhouses: a practical solution. *Applied Thermal Engineering*, 20: 687–706

13 Campen, J.B. and Bot, G.P.A., 2002. Dehumidification in greenhouses by condensation on finned pipes. *Biosystems Engineering*, 82 (2): 177-185

14 Kittas, C. and Bartzanas, T., 2007. Greenhouse microclimate and dehumidification effectiveness under different ventilator configurations *Building and Environment*, 42 (10): 3774-3784

15 Μπαρτζάνας, Θ., 2004. Διαχείριση της υψηλής υγρομετρίας σε ελληνικά θερμοκήπια. Διδακτορική Διατριβή, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, 286 σελ.

(223)

ΕΠΙΒΕΒΑΙΩΣΗ ΒΙΟΛΟΓΙΚΟΥ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑΤΟΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ ΤΟΜΑΤΑΣ ΣΕ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΟΥ ΧΕΙΜΩΝΑ

Κ. Κίττας[1α], Γ. Δημόκας[1β] και M. Tchamitchian[2γ]
[1]Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Σχολή Γεωπονικών Επιστ., Τμ. Γεωπονίας, Φ.Π. & Α.Π., Οδός Φυτόκου, 38446, Ν. Ιωνία Μαγνησίας, [α]ckittas@uth.gr, [β]gedimoka@uth.gr
[2]Écodéveloppement, I.N.R.A., DomaineSaint-Paul, Site Agroparc, Avignon Cedex 9, 84914, France, [γ]arm@avignon.inra.fr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της εργασίας αυτής ήταν η πειραματική επιβεβαίωση βιολογικού προσομοιώματος στην ανάπτυξη και την παραγωγή καλλιέργειας τομάτας. Για το σκοπό αυτό πραγματοποιήθηκαν πειραματικές μετρήσεις στο αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας. Έγινε καταγραφή των στοιχείων που προσδιορίζουν την ανάπτυξη και την παραγωγή της καλλιέργειας τομάτας καθώς και των κλιματικών παραμέτρων στο εσωτερικό και στον περιβάλλοντα χώρο του θερμοκηπίου. Τα αποτελέσματα του βιολογικού μοντέλου συγκρίθηκαν με τα πειραματικά δεδομένα και παρατηρήθηκε μικρή απόκλιση των μετρημένων από τις υπολογισμένες τιμές.

VALIDATION OF A TOMATO CROP MODEL IN A GREENHOUSE DURING WINTER PERIOD

C. Kittas[1a], G. Dimokas[1b] and M. Tchamitchian[2c]
[1]University of Thessaly, Sch. of Agricultural Sc., Dept. of Agric. Crop Prod. & Rural, Env., Fytokou Str, 38446, N. Ionia Magnesias, [a]ckittas@uth.gr, [b]gedimoka@uth.gr
[2]Écodéveloppement, I.N.R.A., DomaineSaint-Paul, Site Agroparc, Avignon Cedex 9, 84914, France, [c]arm@avignon.inra.fr

ABSTRACT

The aim of this work was the experimental confirmation of a biological simulator in tomato's development and production. For this purpose experiments were carried out in the farm of the University of Thessaly in the region of Velestino. The measurements that were collected can determine the development and the production of a tomato crop. Also the parameters of the greenhouse climate and the climate of the exterior region were collected. The results of the biological simulator were tested with the experimental data and observed a small deviation between the measured and the computed values.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι προστατευμένες καλλιέργειες των κηπευτικών, δρεπτών ανθέων και των διακοσμητικών φυτών αποτελούν το πεδίο με τη μεγαλύτερη ανάπτυξη την τελευταία εικασοετία στα αγροτικά θέματα. Οι θερμοκηπιακές καλλιέργειες πλέον, μπορούν να θεωρηθούν ως η πιο εντατική και σύνθετης μορφής παραγωγική διαδικασία και πολλές φορές αναφέρονται ως η βιομηχανία των θερμοκηπίων για τονιστεί ο ρόλος της τεχνολογίας στη όλη διαδικασία [1]. Σύγχρονα θερμοκήπια καθιστούν δυνατή την εκλεπτυσμένη διαχείριση της παραγωγικής διαδικασίας, μέσω της διαχείρισης της θερμοκρασίας του αέρα της σχετικής υγρασίας (θέρμανση και αερισμός) της συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα, της ηλιακής ακτινοβολίας (τεχνητός φωτισμός, σκίαση των θερμοκηπίων) και του περιβάλλοντος της ριζόσφαιρας (καλλιέργεια σε υπόστρωμα, θέρμανση των πάγκων ανάπτυξης). Στις προστατευμένες καλλιέργειες ο έλεγχος του κλίματος κατά την παραγωγική διαδικασία έχει το αντίστοιχο κόστος, καθώς επιτυγχάνεται με την εισαγωγή στοιχειών όπως η ανθρώπινη εργασία, η ενέργεια, το κεφάλαιο και άλλα.

Σήμερα το πρόβλημα του υψηλού κόστους παραγωγής των κηπευτικών καλλιεργειών δύναται να επιλυθεί με τη χρήση βιολογικών προσομοιωμάτων που αποτελούν ισχυρά εργαλεία για να ελεγχθούν υποθέσεις, να συνδυαστεί η γνώση, να περιγραφεί και να κατανοηθεί ένα περίπλοκο σύστημα και να συγκριθούν διάφορα σενάρια. Τα μοντέλα δύναται να ορίσουν την ανάπτυξη και την παραγόμενη ποσότητα συνεισφέροντας στον προγραμματισμό και στη στρατηγική που θα ακολουθηθεί από τους παραγωγούς κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου.

Τα μοντέλα μπορούν να χρησιμοποιηθούν εκτός των άλλων ως συστήματα σχηματισμού απόφασης, έλεγχο του κλίματος των θερμοκηπίων καθώς και για την πρόβλεψη και τον προγραμματισμό της παραγωγικής διαδικασίας. Συνεπώς το ενδιαφέρον για τη μοντελοποίηση της παραγωγής βιομάζας για τις διάφορες καλλιέργειες ακόμη αυξάνεται όπως αυτό δηλώνεται από την αυξανόμενη αναλογία των δημοσιευμένων εργασιών που σχετίζονται με την μοντελοποίηση.

Διάφορα μοντέλα για τις θερμοκηπιακές καλλιέργειες έχουν αναπτυχθεί, όπως για παράδειγμα το χρυσάνθεμο, το αγγούρι, το μαρούλι, το ραπανακι, το τριαντάφυλλο [8] και της τομάτας [4], [7]. Το μοντέλο TOMGRO των Jones et al., [7] έχει τεκμηριωθεί, βαθμονομηθεί και επιβεβαιωθεί από τους Dayan et al. [2], [3]. Οι περισσότερες δημοσιευμένες εργασίες που έχουν πραγματοποιηθεί στο πεδίο των θερμοκηπιακών καλλιεργειών, ασχολούνται με την ανάπτυξη και παραγωγή της τομάτας. Ένα περιεκτικό και γενικό μοντέλο για την προσομοίωση της φωτοσύνθεσης και της παραγωγής του ξηρού βάρους στις θερμοκηπιακές καλλιέργειες έχει αναπτυχθεί από τον Gijzen [5]. Τα περισσότερα μοντέλα παρουσιάζονται ελλιπή, ή μη τελειοποιημένα όταν για παράδειγμα μοντελοποιείται μόνο η ανάπτυξη της καλλιέργειας, ενώ πολλές φορές δεν έχουν βαθμονομηθεί.

Η λειτουργία των βιολογικών προσομοιωμάτων στηρίζεται στην παραγωγή του ξηρού βάρους. Η καλλιέργεια προσδιορίζεται από το παραγόμενο ξηρό βάρος, την οργανογένεση και από την κατανομή του ξηρού βάρους στον αριθμό των παραγόμενων οργάνων. Αυτά τα χαρακτηριστικά όχι μόνο σχετίζονται με την ποσότητα της παραγωγής αλλά ταυτόχρονα και με την ποιότητα των παραγόμενων προϊόντων. Η παραγωγή του ξηρού βάρους εξαρτάται από τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης καθώς και την αναπνοή διατήρησης και αύξησης που προκαλεί μείωση του παραγόμενου ξηρού βάρους των φυτών.

Στην παρούσα εργασία επιχειρείται η πειραματική επιβεβαίωση ενός βιολογικού προσομοιώματος με αρχικό στόχο τον έλεγχο της ανάπτυξης και της παραγωγής της καλλιέργειας της τομάτας. Για πρώτη φορά επιχειρείται η χρήση του μοντέλου

προσομοίωσης για τον υπολογισμό της ανάπτυξης και της παραγωγής της καλλιέργειας για ορισμένο χρονικό διάστημα, καθώς η καλλιέργεια κορυφολογείται, σύμφωνα πάντα με την καλλιεργητική πρακτική που ακολουθείται στη χώρα μας. Για το σκοπό αυτό και μέσα από πειραματικές μετρήσεις του κλίματος και της ανάπτυξης και της παραγωγής των φυτών, διερευνήθηκε η πιστότητα των παραγόμενων τιμών που προκύπτουν από τη χρήση του βιολογικού προσομοιώματος σε σχέση με τις τιμές που μετρήθηκαν κατά τη διάρκεια της πειραματικής περιόδου.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1. Περιγραφή του Βιολογικού Μοντέλου

Το βιολογικό μοντέλο περιγράφει ποσοτικά την αύξηση της καλλιέργειας της τομάτας, ταυτόχρονα με τον αριθμό και τη συσσώρευση του ξηρού βάρους των κύριων μερών του φυτού (ρίζα, βλαστού, φύλλων και καρπών). Η παραγωγή του αριθμού των οργάνων αποτελεί εξάρτηση του ρυθμού εμφάνισης και της ηλικίας,. Η συσσώρευση του ξηρού βάρους προέρχεται από το ισοζύγιο του διοξειδίου του άνθρακα (CO_2) και τον καταμερισμό του βάρους μεταξύ των οργάνων.

Το χρονικό διάστημα της ολοκλήρωσης του μοντέλου είναι μία ημέρα. Παρ'όλα αυτά κάποιες από τις διαδικασίες του μοντέλου όπως η αφομοίωση και η αναπνοή παρουσιάζουν άμεση αντίδραση στην μεταβολή των κλιματικών συνθηκών, όπως στην ένταση του φωτός και την συγκέντρωση του CO_2. Άμεση συνέπεια ο υπολογισμός της αφομοίωσης και της αναπνοής να γίνεται σε επονομαζόμενο «γρήγορο βρόγχο» όπου η ολοκλήρωση των τιμών πραγματοποιείται για το χρονικό διάστημα της μίας ώρας.

2.1.1. Οργανογένηση

Η οργανογέννηση αποτελεί τη μεταβολή του αριθμού των οργάνων του φυτού και συμβαίνει μέσω του σχηματισμού νέων φύλλων, νέων τμημάτων του βλαστού και νέων καρπών. Ταυτόχρονα τα φυτά μέσω της διαδικασίας αποβολής ή απομάκρυνσης καρπών και φύλλων ανανεώνουν τα φυτικά τους μέρη. Ο ρυθμός σχηματισμού νέων κόμβων (φύλλων ή ταξιανθιών) εξαρτάται από την θερμοκρασία και τα επίπεδα συγκέντρωσης του CO_2. Ο ρυθμός σχηματισμού των φύλλων είναι ίσος με το ρυθμό σχηματισμού των κόμβων μέχρι την εμφάνιση της πρώτης ταξιανθίας. Έπειτα για τον υπολογισμό των κόμβων λαμβάνεται υπόψη και ο σχηματισμός των ταξιανθιών.

2.1.2. Παραγωγή ξηρού βάρους

Ο υπολογισμός της συσσώρευσης της βιομάζας της καλλιέργειας βασίζεται σε μια ποσοτική περιγραφή του ισοζυγίου του άνθρακα, που εμπεριέχει το ρυθμό αφομοίωσης των στοιχείων, την αναπνοή αύξησης και την αναπνοή διατήρησης. Ο ρυθμός αφομοίωσης των στοιχείων καθώς και η αναπνοή αύξησης και διατήρησης επηρεάζεται από τις κλιματικές συνθήκες (θερμοκρασία, ηλιακή ακτινοβολία, συγκέντρωση του CO_2) και την ηλικιακή κλάση για κάθε ένα από τα μέρη του φυτού [6]. Οι κλιματικές συνθήκες εντός του θερμοκηπίου διαφέρουν για μικρές χρονικές περιόδους με συνέπεια ο ρυθμός αφομοίωσης και η αναπνοή να υπολογίζονται με ωριαία χρονικά βήματα «γρήγορος βρόγχος».

2.1.3. Κατανομή της παραγόμενης βιομάζας

Ο διαχωρισμός του ξηρού βάρους μεταξύ των οργάνων του φυτού μπορεί να περιγραφεί από τη δυνάμενη αύξηση [6]

Στο μοντέλο η κατανομή των αφομοιώσιμων στοιχείων καθορίζεται από το λόγω της δυνάμενης προς την αιτούμενη ποσότητα και εξαρτάται από την ηλικία του φυτού και τη θερμοκρασία [9].

2.1.4. Αύξηση των οργάνων του φυτού

Ο ρυθμός αύξησης των οργάνων του φυτού αποτελεί εξάρτηση του λόγου της παραγόμενης ποσότητας που προκύπτει από τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης και της αναπνοής προς την απαιτούμενη ποσότητα από τα διάφορα φυτικά μέρη.

2.2. Το θερμοκήπιο και η καλλιέργεια

Τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν στο αγρόκτημα του Βελεστίνου στις εγκαταστάσεις του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας από την 1η Οκτωβρίου 2005 έως την 1η Απριλίου 2006. Για την πραγματοποίηση του πειράματος χρησιμοποιήθηκε θερμοκήπιο, τροποποιημένο τοξωτό, επιφανείας 160 m^2 (20 μέτρα μήκος και 8 μέτρα πλάτος) και μέγιστου ύψους 4,1m στον κορφιά, ενώ το ύψος του ορθοστάτη έφτανε τα 2,9m. Ταυτόχρονα χρησιμοποιήθηκε και δεύτερο θερμοκήπιο ιδίου τύπου για το μεγάλωμα φυτών που χρησιμοποιήθηκαν για τη συμπλήρωση των κενών που δημιουργήθηκαν κατά τις καταστροφικές μετρήσεις προκειμένου να διατηρηθεί σταθερή η πυκνότητα (2.4 φυτά / m^2) στο εσωτερικό του πειραματικού θερμοκηπίου. Το έδαφος των θερμοκηπίων ήταν πλήρως καλυμμένο με αδιαφανές, διπλής όψεως ασπρόμαυρο πλαστικό.

Για τη θρέψη των φυτών χρησιμοποιήθηκε ανοιχτό υδροπονικό σύστημα έτσι ώστε να αποφευχθεί ο κίνδυνος μολύνσεων από ασθένειες του εδάφους και να διασφαλιστεί η βέλτιστη θρέψη των φυτών. Η δόση άρδευσης, ο χρόνος και η ποιότητα του θρεπτικού διαλύματος, ελέγχονταν αυτόματα με το πρόγραμμα MACQU (Μanagement and Control for Quality in Greenhouse). Η τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του θρεπτικού διαλύματος για τη συγκεκριμένη καλλιέργεια, ήταν 2,1 $mScm^{-1}$ και το pH ήταν 5,6 με μικρές τροποποιήσεις, ανάλογα με της συνθήκες και το στάδιο ανάπτυξης της καλλιέργειας.

2.3. Κλιματικές μετρήσεις

Οι κλιματικοί παράμετροι που καταγράφονταν τόσο στον περιβάλλον χώρο του θερμοκηπίου όσο και στο εσωτερικό του παρουσιάζονται παρακάτω:

- Η θερμοκρασία (T_o,^oC) και το έλλειμμα κορεσμού του αέρα (Do, kPa) με αεριζόμενο ψυχρόμετρο τύπου Assman (τύπος VPI, Delta-T Devices, Cambridge, UK). Το ψυχρόμετρο μετρούσε τις θερμοκρασίες ξηρού και υγρού θερμομέτρου από τις οποίες υπολογίζεται το έλλειμμα κορεσμού του αέρα.
- Η ηλιακή ακτινοβολία (RG_o, Wm^{-2}) με πυρανόμετρο (CM-6B, Kipp and Zonen, Delft, The Netherlands).
- Η ταχύτητα του αέρα (u, m s^{-1}) με ανεμόμετρο κυπέλλων (τύπος AN1-UM-3, Delta-T Devices, Cambridge, UK).
- Η διεύθυνση του αέρα (WD ^{o}) με ανεμοδείκτη (τύπος WD1-UM3-3, Delta-T Devices, Cambridge, UK).

Για την συλλογή, την αρχική επεξεργασία και την καταγραφή των δεδομένων χρησιμοποιήθηκε σύστημα συλλογής και καταγραφής δεδομένων (DL 3000, Delta-T Devices, Cambridge, UK). Οι μετρήσεις λαμβάνονταν κάθε 30 δευτερόλεπτα (30s) και καταγράφονταν η μέση τιμή τους κάθε 10 λεπτά (10m).

2.4. Βιολογικές μετρήσεις

2.4.1. Μετρήσεις ανάπτυξης της καλλιέργειας

Για τη μελέτη της αύξησης και ανάπτυξης των φυτών επιλέχθηκαν 8 φυτά εκατέρωθεν του κέντρου του θερμοκηπίου, στις δύο μεσαίες διπλές σειρές. Οι μετρήσεις ανάπτυξης των μορφολογικών χαρακτηριστικών των φυτών πραγματοποιούνταν με συχνότητα 3 φορές για κάθε εβδομάδα καθ'όλη την πειραματική περίοδο. Μετρήθηκαν:

i. Το μήκος του φυτού

ii. Ο συνολικός αριθμός φύλλων
iii. Ο αριθμός των νεκρών και αφαιρούμενων φύλλων
iv. Ο αριθμός των κόμβων
v. Ο συνολικός αριθμός των ταξιανθιών
vi. Ο αριθμός των ανθέων ανά ταξιανθία
vii. Ο αριθμός των καρπών ανά ταξιανθία

2.4.2. Μετρήσεις της παραγόμενης βιομάζας

Καθόλη την πειραματική περίοδο πραγματοποιήθηκαν 10 καταστροφικές μετρήσεις ολόκληρου του φυτού. Οι καταστροφικές μετρήσεις πραγματοποιούνταν κάθε 2 εβδομάδες σε φυτά. διαφορετικά σύμφωνα με το πειραματικό σχέδιο και την τυχαία κατανομή τους, ενώ τα κενά τους συμπληρώνονταν με επιπρόσθετα φυτά που βρίσκονταν στο ίδιο στάδιο ανάπτυξης. Για κάθε μέτρηση καταστρέφονταν 4 φυτά και καταγράφονταν το χλωρό βάρος και το ξηρό βάρος των ιστών (φύλλα, βλαστός, καρποί, άνθη, ρίζα). Το ξηρό βάρος καταγράφονταν μετά την εισαγωγή των φυτών σε φούρνο, στους 105^0C για 24 ώρες, εκτός από τους καρπούς, στους οποίους η θερμοκρασία κατά την ξήρανση ήταν στους 75^0C.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

3.1. Πειραματική επιβεβαίωση του προσομοιώματος

Για την πειραματική επιβεβαίωση του βιολογικού προσομοιώματος απαιτήθηκε ο στατιστικός προσδιορισμός των παραμέτρων των μαθηματικών εξισώσεων, αρχικές τιμές απόδοσης του σταδίου ανάπτυξης της καλλιέργειας και χρήση των κλιματικών μετρήσεων. Τα στοιχεία για τις τιμές των παραμέτρων που χρησιμοποιήθηκαν προήλθαν από την αναζήτηση της βιβλιογραφίας, ενώ μέρος αυτών συμπληρώθηκε από τις πειραματικές μετρήσεις. Οι τιμές που αποδίδουν το στάδιο ανάπτυξης της καλλιέργειας προήλθαν από πειραματικές μετρήσεις βάρους και αριθμού διαφόρων χαρακτηριστικών των φυτών. Τέλος οι κλιματικές μετρήσεις που χρησιμοποιήθηκαν αποτελούν τα κλιματικά δεδομένα που συλλέχθηκαν κατά την πειραματική περίοδο.

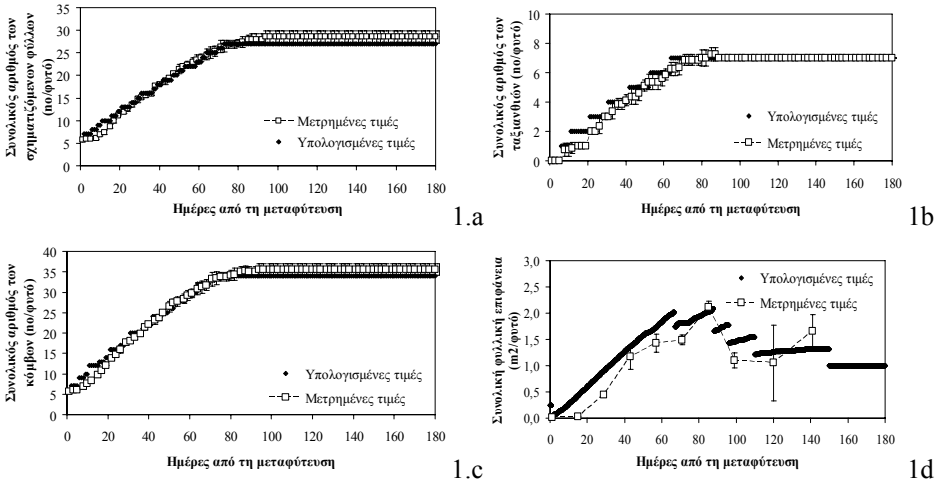
3.2. Υπολογισμοί του αριθμού των φύλλων, των ταξιανθιών, των κόμβων και της φυλλικής επιφάνειας των φυτών

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων του αριθμού των φύλλων, των ταξιανθιών και των κόμβων και της φυλλικής επιφάνειας των φυτών για την πειραματική περίοδο απεικονίζονται στα *σχήματα 1.a, 1.b, 1.c, 1.d*. Παρατηρήθηκε ότι η πορεία αύξησης του αριθμού των φύλλων των ταξιανθιών και των κόμβων, τόσο στις μετρημένες όσο και στις υπολογισμένες τιμές, ακολουθεί παρόμοια κλίση καθόλη τη διάρκεια της πειραματικής περιόδου. Μικρή απόκλιση παρατηρείται στις μετρημένες τιμές της φυλλικής επιφάνειας από τις υπολογισμένες και οφείλεται στην κορυφολόγηση που πραγματοποιήθηκε στα πειραματικά φυτά, με άμεση συνέπεια στη διαφοροποίηση των τιμών.

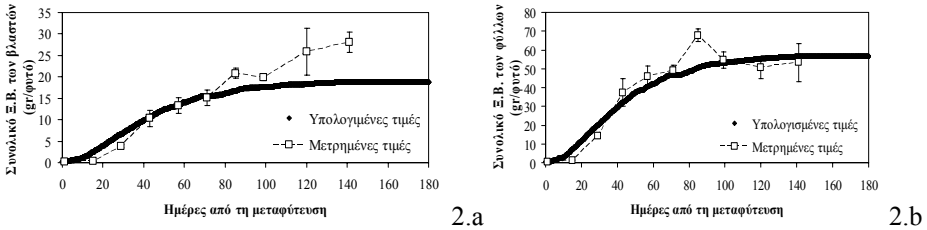
3.3. Υπολογισμός του ξηρού βάρους των βλαστών και των φύλλων

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων του ξηρού βάρους των βλαστών και των φύλλων των φυτών για την πειραματική περίοδο απεικονίζονται στα *σχήματα 2.a., 2.b*. Παρατηρήθηκε ότι η πορεία αύξησης του ξηρού βάρους των βλαστών, τόσο στις μετρημένες όσο και στις υπολογισμένες τιμές, ακολουθεί παρόμοια κλίση. Μικρές αποκλίσεις παρουσιάζουν οι υπολογισμένες από τις μετρημένες τιμές μετά το χρονικό διάστημα των 85 ημερών. Οι μικρές αποκλίσεις στις μετρημένες τιμές του ξηρού βάρους των βλαστών από τις υπολογισμένες οφείλονται, στην κορυφολόγηση που

πραγματοποιήθηκε στα πειραματικά φυτά και που εμφανίζεται με σταθεροποίηση των υπολογισμένων τιμών μετά την 85η ημέρα, κάτι που οδηγεί σε μικρή ποσοτικά υποεκτίμηση των τιμών.



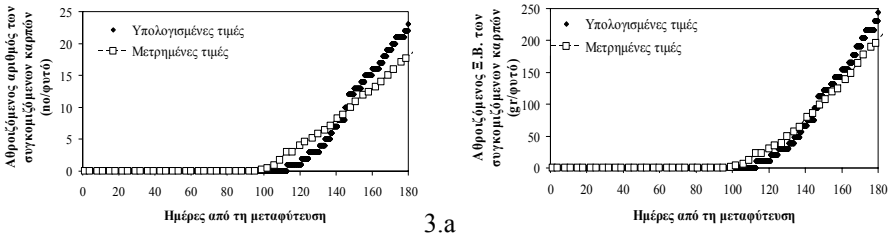
Σχήματα 1.a, 1.b, 1.c, 1.d. Εξέλιξη του συνολικού αριθμού των φύλλων, των ταξιανθιών και των κόμβων των φυτών (no/φυτό) καθώς και η εξέλιξη της φυλλικής επιφάνειας (m^2/φυτό) κατά την πειραματική περίοδο



Σχήματα 2.a, 2.b. Εξέλιξη του συνολικού ξηρού βάρους των βλαστών και των φύλλων των φυτών (gr/φυτό) κατά την πειραματική περίοδο

3.4. Υπολογισμός του αριθμού και του ξηρού βάρους των συγκομιζόμενων καρπών

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων του αριθμού και του ξηρού βάρους των συγκομιζόμενων καρπών των φυτών για την πειραματική περίοδο απεικονίζονται στα *σχήματα 3.a., 3.b*. Παρατηρήθηκε ότι η πορεία αύξησης του αριθμού και του ξηρού βάρους των συγκομιζόμενων καρπών, στις μετρημένες και στις υπολογισμένες τιμές, ακολουθεί παρόμοια κλίση, ενώ παρουσιάζει ταύτιση των τιμών για μεγάλο χρονικό διάστημα της πειραματικής περιόδου. Οι αποκλίσεις που παρουσιάζουν οι υπολογισμένες από τις μετρημένες τιμές μετά το χρονικό διάστημα των 150 ημερών, οφείλονται στο γεγονός ότι ο υπολογισμός του βιολογικού προσομοιώματος βασίζεται στην ηλικία ωρίμανσης των καρπών που διαφοροποιεί τόσο τον παραγόμενο αριθμό όσο και τη παραγόμενη βιομάζα των καρπών σε σχέση με τις πειραματικές μετρήσεις.

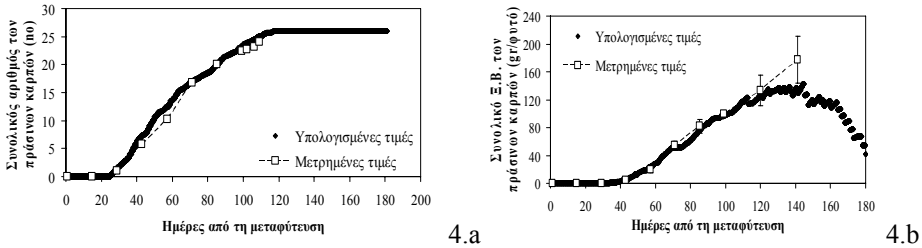


3.a 3.b

Σχήματα 3.a, 3.b. Εξέλιξη του συνολικού αριθμού (no/φυτό) και του ξηρού βάρους (gr/φυτό) των ώριμων καρπών των φυτών κατά την πειραματική περίοδο

3.5. Υπολογισμός του αριθμού και του ξηρού βάρους των μη συγκομιζόμενων καρπών

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων του αριθμού και του ξηρού βάρους των μη συγκομιζόμενων (πράσινων) καρπών των φυτών για την πειραματική περίοδο απεικονίζονται στα *σχήματα 4.a., 4.b*. Παρατηρήθηκε ότι η πορεία αύξησης του αριθμού και του ξηρού βάρους των μη συγκομιζόμενων (πράσινων) καρπών, στις μετρημένες και στις υπολογισμένες τιμές, ακολουθεί παρόμοια κλίση, ενώ παρουσιάζει μικρή απόκλιση στο τέλος της πειραματικής περιόδου. Οι αποκλίσεις οφείλονται στο γεγονός ότι ο υπολογισμός του βιολογικού προσομοιώματος βασίζεται σε διαφορετική ηλικία ωρίμανσης των καρπών σε σχέση με τις πειραματικές μετρήσεις.



4.a 4.b

Σχήματα 4.a, 4.b. Εξέλιξη του συνολικού αριθμού (no/φυτό) και του ξηρού βάρους (gr/φυτό) των πράσινων καρπών των φυτών κατά την πειραματική περίοδο

4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Τα αποτελέσματα του βιολογικού προσομοιώματος με την προσθήκη του κορυφολογήματος κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης των φυτών τομάτας επιβεβαιωθήκαν με τη χρήση των πειραματικών δεδομένων και συμφωνούν με τα αποτελέσματα που προέκυψαν κατά τη χρήση του βιολογικού προσομοιώματος από τους Jones et al., [7] και τους Dayan et al. [2], [3]. Ο υπολογισμός των απαιτήσεων των φυτών για δημιουργία νέων οργάνων συμφωνεί με τις πειραματικές μετρήσεις ενώ και η παραγόμενη βιομάζα παρουσιάζει μικρές αποκλίσεις και αποδίδει πιστά την πραγματικότητα κάτι που συμφωνεί με τους Jones et al., [7] και τους Dayan et al. [2], [3].

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η πειραματική επιβεβαίωση του βιολογικού προσομοιώματος παρά τις μικρές αποκλίσεις που παρουσιάζουν οι υπολογισμένες τιμές δίνει τη δυνατότητα χρησιμοποίησής του για τον υπολογισμό της ανάπτυξης και της παραγωγής της καλλιέργειας τομάτας. Η διαφοροποίηση που πραγματοποιήθηκε και η διακοπή στην

πορεία ανάπτυξης των φυτών κάνει το βιολογικό προσομοίωμα συμβατό με την κύρια πρακτική που ακολουθείται από τους παραγωγούς.. Η σύνδεση του με ένα φυσικό προσομοίωμα αναμένεται να συμβάλει στην βελτιστοποίηση της παραγωγικής διαδικασίας και να στηρίξει αποτελεσματικά την εκλογή στρατηγικών διαχείρισης από τους παραγωγούς, με απώτερο στόχο την μείωση του κόστους παραγωγής.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η εργασία αυτή έγινε στα πλαίσια υποέργου ΠΕΝΕΔ2003 (Μέτρο 8.3 του Ε.Π. Ανταγωνιστικότητα – Γ΄ Κ.Π.Σ.), το οποίο συγχρηματοδοτείται κατά 90% από δημόσιες δαπάνες (75% της δημόσιας δαπάνης από την Ευρωπαϊκή Ένωση – Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο και 25% της δημόσιας δαπάνης από το Ελληνικό Δημόσιο – Υπουργείο Ανάπτυξης – Γενική Γραμματεία Έρευνας και Τεχνολογίας) και κατά 10% από τον ιδιωτικό τομέα (ΑΓΡΕΚ Κ. ΣΑΜΑΝΤΟΥΡΟΣ Α.Ε.).

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Challa, H.; Bakker, J.C. 1995. In: Greenhouse climate control: an integrated approach, J.C. Bakker et al. (eds.). *Wageningen Pers*, The Netherlands, 97-100.
2. Dayan, E., H. van Keulen, J. Jones, I. Ziropi, D. Shmuel and H. Challa, 1993a. Development, field calibration and validation of a tomato greenhouse model. I. Model description. *Agric. Syst*., 43: 145-163.
3. Dayan, E., H. van Keulen, J. Jones, I. Ziropi, D. Shmuel and H. Challa, 1993a. Development, field calibration and validation of a tomato greenhouse model. II. Field calibration and validation. *Agric. Syst*., 43: 165-183.
4. De Konnig A.N.M. (1994). Development and dry matter distribution in glasshouse tomato : a quantitative approach. *Phd thesis*, Wageningen Agricoltural University, The Netherlands.
5. Gijzen, H., 1992. Simulation of photosynthesis and dry matter production of greenhouse crops. CABO-DLO, Wageningen. 70 p. *Simulation Report CABO-TT*, no. 28.
6. Hurd, R.G. and J.H.M. Thornley, 1974. An analysis of the growth of young tomato plants in water culture at different light integrals and CO_2 concentrations. I. Physiological aspects. *Ann. Bot.,* 38: 375-388.
7. Jones J.W., Dayan E., Allen L.H., van Keulen H., Challa H. (1991). A dynamic tomato growth and yield model (TOMGRO). *Transaction of ASAE* 34 (2), 663-672.
8. Lieth J.H., Pascian C.C. (1991). A simulation model for the growth and development of flowering rose shoots. *Scientia Hort*., 46: 109-128.
9. Russel, C.R. and D.A. Morris, 1983. Patterns of assimilate distribution and source-sink relationship in the young reproductive tomato plant (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Ann. Bot*., 52: 357-363.

(224)

ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΚΑΙ ΕΠΙΒΕΒΑΙΩΣΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑΤΟΣ ΜΙΚΡΟΚΛΙΜΑΤΟΣ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ ΚΑΤΑ ΤΗ ΧΕΙΜΕΡΙΝΗ ΠΕΡΙΟΔΟ

Γ. Δημόκας[1], Κ. Κίττας[1], Ν. Κατσούλας[1] και Ν. Δημόκας[2]
[1]Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Σχολή Γεωπονικών Επιστ., Τμ. Γεωπονίας, Φ.Π. & Α.Π. Οδός Φυτόκου, 38446, Ν. Ιωνία Μαγνησίας, gedimoka@uth.gr, ckittas@uth.gr
[2]Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμ. Πληροφορικής, Οδός 26ης Οκτωβρίου 10, Τ.Κ. 54124, Θεσ/νίκη dimokas@gmail.com

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της εργασίας αυτής ήταν η βαθμονόμηση και επιβεβαίωση ενός προσομοιώματος του μικροκλίματος του θερμοκηπίου. Για το σκοπό αυτό αναπτύχθηκε ένα φυσικό προσομοίωμα του θερμοκηπίου που περιλαμβάνει 5 υπό-προσομοιώματα η ολοκλήρωση των οποίων οδηγεί στον υπολογισμό των κλιματικών παραμέτρων του θερμοκηπίου. Για την πειραματική βαθμονόμηση και επιβεβαίωση του προσομοιώματος πραγματοποιήθηκαν πειραματικές μετρήσεις στο αγρόκτημα του Π.Θ. στην περιοχή του Βελεστίνου. Τα αποτελέσματα του προσομοιώματος συγκρίθηκαν με τα πειραματικά δεδομένα και παρατηρήθηκε μικρή απόκλιση των μετρημένων από τις υπολογισμένες τιμές.

VALIDATION OF A GREENHOUSE CLIMATE MODEL DURING WINTER PERIOD

G. Dimokas[1], C. Kittas[1], N. Katsoulas[1] and N. Dimokas[2]
[1]University of Thessaly, Sch. of Agricultural Sc., Dept. of Agriculture Crop Prod. & Rural, Env., Fytokou Str, 38446, N. Ionia Magnesias
[2]Aristotle University of Thessaloniki, Dept. of Computer Sciences, 26th October 10 Str, 54124, Thessaloniki

ABSTRACT

The aim of this work was the validation and experimental confirmation of a greenhouse climate simulator. For this purpose a simulator for the greenhouse climate was developed and contains 5 sub-simulators. The integration of the sub-simulators can guide to the estimation of the greenhouse climate parameters. In order to achieve validation and experimental confirmation, experiments were carried out in the farm of the University of Thessaly in the region of Velestino. The results of the greenhouse climate simulator were tested with the experimental data and observed a small deviation between the measured and the computed values.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ενεργειακή κρίση στις αρχές της δεκαετίας του ’70 και στα μέσα της δεκαετίας του ’80 οδήγησαν τους παραγωγούς στην απαίτηση για θερμοκήπια μειωμένης κατανάλωσης ενέργειας. Οι επενδύσεις που πραγματοποιήθηκαν για τη διατήρηση τη ενέργειας οδήγησαν στη χρήση των θερμοκουρτήνων, συμπυκνωτών καυσαερίων, διπλών πλαστικών, χαμηλότερων σημείων για τη διατήρηση της θερμοκρασίας στο εσωτερικό του θερμοκηπίου και στην ελαχιστοποίηση του αερισμού [1]. Σήμερα, το κόστος λειτουργίας των πλήρως εξοπλισμένων θερμοκηπίων παραμένει υψηλό και απαιτείται η βέλτιστη δυνατή λειτουργία του. Ο χρήστης μιας θερμοκηπιακής μονάδας έχει ως αποστολή να διαχειριστεί και να επιλύσει ένα πιο τα πιο δύσκολα προβλήματα, καθώς θα πρέπει να γνωρίζει το διαθέσιμο εξοπλισμό για τη μεταβολή των κλιματικών συνθηκών και τη θρέψη των φυτών και να τα συσχετίσει με την τελική καθαρή πρόσοδο.

Παρά τη μεγάλη πρόοδο των τελευταίων ετών στη θεωρητική ανάλυση της ενεργειακής κατανάλωσης στον τομέα των θερμοκηπίων στην πράξη υπήρξε μικρή πρόοδος στην υλοποίηση των μοντέλων και των στρατηγικών διαχείρισης στο πεδίο της καθημερινής παραγωγής σε εμπορικά θερμοκήπια [2], με συνέπεια η στρατηγική διαχείρισης να συνεχίζει να στηρίζεται στην πείρα των παραγωγών. Η αποδοχή των μοντέλων ελέγχου του κλίματος από τους παραγωγούς θα πρέπει να αποδεικνύει στην πράξη ότι υφίσταται κέρδος, σε κάποιο από τα προβλήματα διαχείρισης του κλίματος όπως π.χ. ο βιολογικός έλεγχος των ασθενειών. Οι εταιρίες που με τη χρήση των εργαλείων διαχείρισης προσπαθούν να συμβάλουν στο έλεγχο του κλίματος θεωρούν ότι βασική αρχή στο σχεδιασμό των μοντέλων είναι η δυνατότητα χρησιμοποίησης τους για διαφορετικές καλλιέργειες. Κρίνεται επίσης απαραίτητο να είναι εύκολα στη χρήση από τον πιθανό χρήστη και ταυτόχρονα να είναι ανεξάρτητα από το λογισμικό που χρησιμοποιείται, για να εκτελεστεί στην πράξη σε εμπορικά θερμοκήπια. Τα συστήματα σχηματισμού της απόφασης [3], συμβουλεύουν τον παραγωγό πώς να εισάγει μοντέλα χρησιμοποιώντας ταυτόχρονα πληροφορίες και γνώσεις από πολλές διαφορετικές πηγές.

Το πρόβλημα του υψηλού κόστους κατά την παραγωγική διαδικασία σχετίζεται με τον έλεγχο του κλίματος στο εσωτερικό του θερμοκηπίου ιδιαίτερα σε περιόδους με χαμηλές θερμοκρασίες και υψηλή υγρασία. Η επίλυση του δύναται να στηριχθεί στην χρήση φυσικών προσομοιωμάτων που με την ταυτόχρονη χρήση μιας γεννήτριας εξωτερικών κλιματικών δεδομένων θα δύναται να προβλέπουν το κλίμα στο εσωτερικό των θερμοκηπιακών μονάδων για χρονικό διάστημα τουλάχιστον τριών ημερών και θα συμβάλλει στον προγραμματισμό των παραγωγών. Ταυτόχρονα η σύνδεσή του με ένα βιολογικό προσομοίωμα θα ικανοποιήσει την ανάγκη για πρόβλεψη της ανάπτυξης και της παραγωγής της καλλιέργειας και τον ανάλογο προγραμματισμό σύμφωνα με τη στρατηγική διαχείρισης για την επίτευξη των στόχων των παραγωγών.

Τα τελευταία χρόνια η προσπάθεια για αποτελεσματική διαχείριση του κλίματος των θερμοκηπιακών μονάδων οδήγησε στη δημιουργία νέων κλιματικών προσομοιωμάτων. Οι Pieters και Deltour [4], παρουσίασαν το GCM, κλιματικό προσομοίωμα που περιγράφει την ανταλλαγή ενέργειας σε επτά διαφορετικά επίπεδα (τέσσερα επίπεδα εδάφους, το επίπεδο της καλλιέργειας, του εσωτερικού αέρα του θερμοκηπίου και τέλος το επίπεδο του καλύμματος). Σύμφωνα με τους Singh [5], στο κλιματικό τους προσομοίωμα MICGREEN ο υπολογισμός των θερμοκρασιών του αέρα, της καλλιέργειας, του καλύμματος και του εδάφους γίνεται με τη χρήση τεσσάρων ισοζυγίων ενέργειας. Οι Ghosal et al., [6], [7], χρησιμοποιούν στο κλιματικό τους προσομοίωμα την ύπαρξη του βόρειου τοίχου, καθώς οι περισσότερες κατασκευές στις συγκεκριμένη περιοχή καλύπτουν τη βορινή πλευρά του θερμοκηπίου για την μείωση των απωλειών θερμότητας. Στο HORTITRANS ο Jolliet [8], παρουσιάζει τον

υπολογισμό της παραγόμενης υγρασίας και της διαπνοής των φυτών ως συνάρτηση της μεταβολής των εξωτερικών κλιματικών συνθηκών. Στο προσομοίωμα περιλαμβάνονται οι διαδικασίες της διαπνοής, συμπύκνωσης, αερισμού, υγροποίησης και από-υγροποίησης. Τέλος οι Gijzen et al., [9], παρουσίασαν το HORTISIM ένα βιοφυσικό προσομοίωμα, υπολογισμού τόσο της ανάπτυξης και της παραγωγής της καλλιέργειας της τομάτας όσο και των κλιματικών μεταβολών στο εσωτερικό του θερμοκηπίου.

Στην παρούσα εργασία επιχειρείται η ανάπτυξη, βαθμονόμηση και πειραματική επιβεβαίωση ενός φυσικού προσομοιώματος με στόχο τον έλεγχο του κλίματος στο εσωτερικό των θερμοκηπιακών μονάδων και ιδιαίτερα τον υπολογισμό της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας του αέρα. Σκοπός της πειραματικής επιβεβαίωσης του φυσικού προσομοιώματος είναι η σύνδεση του με ένα βιολογικό προσομοίωμα για την βελτιστοποίηση της παραγωγικής διαδικασίας.

2. ΤΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑ

2.1. Περιγραφή του προσομοιώματος

Η προσομοίωση του "ισοζυγίου ενέργειας και μάζας του θερμοκηπίου" επιβάλει την ανάλυση του ισοζυγίου ενέργειας του κάθε επιμέρους συστήματος που αλληλεπιδρά θερμικά. Κάθε ισοζύγιο ενέργειας συνίσταται από διαφορικές εξισώσεις που περιγράφουν τις εισροές και εκροές ενέργειας καθώς και το ρυθμό αλλαγής της θερμοκρασίας των επιμέρους συστατικών συναρτήσει του χρόνου. Στα ισοζύγια ενέργειας και μάζας του θερμοκηπίου λαμβάνουν χώρα τα φαινόμενα συναγωγής, ακτινοβολίας και μεταφοράς θερμότητας, η διαπνοή των φυτών, ο αερισμός καθώς και τα φαινόμενα συμπύκνωσης και υγροποίησης στο κάλυμμα και την καλλιέργεια.

Το κλιματικό μοντέλο που αναπτύχθηκε περιγράφει ποσοτικά, την μεταβολή της θερμοκρασίας του καλύμματος, της καλλιέργειας, του εδάφους και του αέρα στο εσωτερικό του θερμοκηπίου καθώς και τη μεταβολή της μάζας των υδρατμών στον αντίστοιχο χρόνο. Ο προσομοιωτής αποτελείται από υπο-μοντέλα που συνδέονται με την κύρια μηχανή και περιγράφουν:

- Το ισοζύγιο ενέργειας του αέρα
- Το ισοζύγιο ενέργειας του καλύμματος
- Το ισοζύγιο ενέργειας της καλλιέργειας
- Το ισοζύγιο ενέργειας του εδάφους
- Το ισοζύγιο μάζας του αέρα

2.2. Μεταβλητές εισόδου – εξόδου

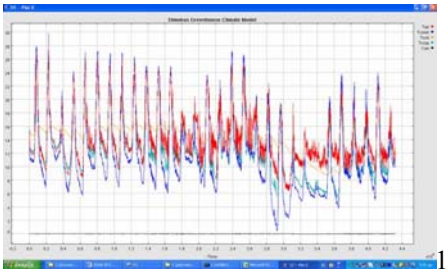
Ο προσομοιωτής έχει ανοικοδομηθεί γύρω από μια κεντρική μηχανή που παρέχει τη δυνατότητα τροφοδοσίας και εισαγωγής δεδομένων στα εκάστοτε ισοζύγια ενέργειας που διασυνδέονται γύρω από αυτήν. Η διαδικασία λειτουργίας του προσομοιωτή περιλαμβάνει τη δημιουργία μεταβλητών εισόδου από τον χρήστη, που περιγράφουν τις κλιματικές παραμέτρους του περιβάλλοντος χώρου του θερμοκηπίου. Οι μεταβλητές εισόδου που διαβάζει ο προσομοιωτής είναι:

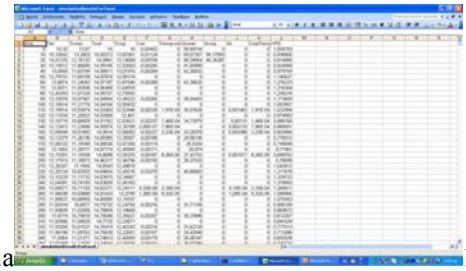
- Η εξωτερική θερμοκρασία του αέρα
- Η εξωτερική σχετική υγρασία του αέρα
- Η εξωτερική ηλιακή ακτινοβολία
- Η εξωτερική ταχύτητα του ανέμου
- Το ποσοστιαίο άνοιγμα των παραθύρων
- Η ποσότητα ενέργειας που προσδίδει το σύστημα θέρμανσης στο θερμοκήπιο

Οι μεταβλητές εισόδου επεξεργάζονται από τον προσομοιωτή και παράγουν ως αποτέλεσμα τις μεταβλητές εξόδου (Εικόνα 1.b.), με ταυτόχρονη απεικόνισή τους σε

γραφική παράσταση (Εικόνα 1.a.) και αποθήκευσή τους σε φάκελο Excel. Οι μεταβλητές εξόδου που παράγονται είναι:

- Η θερμοκρασία του αέρα στο εσωτερικό του θερμοκηπίου
- Η θερμοκρασία του καλύμματος
- Η θερμοκρασία της καλλιέργειας
- Η θερμοκρασία του εδάφους
- Η σχετική υγρασία του αέρα στο εσωτερικό του θερμοκηπίου
- Η ηλιακή ακτινοβολία στο εσωτερικό του θερμοκηπίου


1.a


1.b

Εικόνα 1.a, 1.b. Γραφική απεικόνιση και το παραγόμενο αρχείο του Excel με αποτελέσματα του κλιματικού μοντέλου

Παράλληλα ο προσομοιωτής δύναται να εξάγει πιο εξειδικευμένες πληροφορίες για τα φαινόμενα που λαμβάνουν χώρα στο χρονικό διάστημα της προσομοίωσης, καθώς και τις τιμές κρίσιμων μεταβλητών όπως:

- Τη συμπύκνωση στο κάλυμμα
- Τη συμπύκνωση στην καλλιέργεια
- Τη φωτοσυνθετικά ενεργή ακτινοβολία
- Τις ποσότητες ενέργειας που μεταφέρονται με συναγωγή

3. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

3.1. Το θερμοκήπιο και η καλλιέργεια

Τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν στο αγρόκτημα του Βελεστίνου στις εγκαταστάσεις του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας από την 1η Οκτωβρίου 2005 έως την 1η Απριλίου 2006. Για την πραγματοποίηση του πειράματος χρησιμοποιήθηκε θερμοκήπιο, τροποποιημένο τοξωτό, επιφανείας 160 m^2 (20 μέτρα μήκος και 8 μέτρα πλάτος) και μέγιστου ύψους 4.1m στον κορφιά, ενώ το ύψος του ορθοστάτη έφτανε τα 2.9m. Η πυκνότητα φύτευσης, στο εσωτερικό του πειραματικού θερμοκηπίου ήταν 2.4 φυτά / m^2. Το έδαφος των θερμοκηπίων ήταν πλήρως καλυμμένο με αδιαφανές, διπλής όψεως ασπρόμαυρο πλαστικό.

Για τη θρέψη των φυτών χρησιμοποιήθηκε ανοιχτό υδροπονικό σύστημα έτσι ώστε να αποφευχθεί ο κίνδυνος μολύνσεων από ασθένειες του εδάφους και να διασφαλιστεί η βέλτιστη θρέψη των φυτών. Η δόση άρδευσης, ο χρόνος και η ποιότητα του θρεπτικού διαλύματος, ελέγχονταν αυτόματα με το πρόγραμμα MACQU (Management and Control for Quality in Greenhouse). Η τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του θρεπτικού διαλύματος για τη συγκεκριμένη καλλιέργεια, ήταν 2,1 $mScm^{-1}$ και το pH ήταν 5,6 με μικρές τροποποιήσεις, ανάλογα με της συνθήκες και το στάδιο ανάπτυξης της καλλιέργειας.

3.2. Κλιματικές μετρήσεις

Οι κλιματικοί παράμετροι που καταγράφονταν τόσο στον περιβάλλον χώρο του θερμοκηπίου όσο και στο εσωτερικό του παρουσιάζονται παρακάτω:

- Η θερμοκρασία (T_o,°C) και το έλλειμμα κορεσμού του αέρα (Do, kPa) με αεριζόμενο ψυχρόμετρο τύπου Assman (τύπος VPI, Delta-T Devices, Cambridge, UK). Το ψυχρόμετρο μετρούσε τις θερμοκρασίες ξηρού και υγρού θερμομέτρου από τις οποίες υπολογίζεται το έλλειμμα κορεσμού του αέρα.
- Η ηλιακή ακτινοβολία (RG_o, Wm^{-2}) με πυρανόμετρο (CM-6B, Kipp and Zonen, Delft, The Netherlands).
- Η ταχύτητα του αέρα (u, m s^{-1}) με ανεμόμετρο κυπέλλων (τύπος AN1-UM-3, Delta-T Devices, Cambridge, UK).
- Η διεύθυνση του αέρα (WD °) με ανεμοδείκτη (τύπος WD1-UM3-3, Delta-T Devices, Cambridge, UK).

Επιπλέον καταγράφονταν στον εσωτερικό χώρο του θερμοκηπίου οι παρακάτω κλιματικοί παράμετροι:

- Η καθαρή ακτινοβολία πάνω ($R_{n,a}$, W m^{-2}) και κάτω ($R_{n,b}$, W m^{-2}) από την καλλιέργεια με ραδιόμετρα (τύπος Q-7, REBS, Seattle, Washington). Από τη διαφορά των δύο ραδιομέτρων, πάνω και κάτω από την καλλιέργεια ($R_{n,a}$-$R_{n,b}$) υπολογίζονταν η απορροφόμενη καθαρή ενέργεια από την καλλιέργεια $R_{n,uint}$ (W m^{-2}).
- Η θερμοκρασία (10) φύλλων (Tl, °C) με θερμοζεύγη χαλκού – κονσταντάνης (τύπος Της, Omega, UK), διαμέτρου 0.1mm, τα οποία προσαρμόζονταν στην κεντρική νεύρωση των φύλλων σε φυτά στο κέντρο του θερμοκηπίου. Η μέση τιμή της θερμοκρασίας της καλλιέργειας (Tl, °C) υπολογίζονταν από της μέσες τιμές της θερμοκρασίας των φύλλων.
- Η θερμοκρασία της εσωτερικής επιφάνειας του καλύμματος οροφής (Tl, °C) με θερμοζεύγη χαλκού – κονσταντάνης (τύπος Της, Omega, UK), διαμέτρου 0.5mm. Η θερμοκρασία του καλύμματος καταγράφονταν σε δύο σημεία στο κέντρο του θερμοκηπίου από τα οποία εξάγονταν ο μέσος όρος.
- Η διαπνοή της καλλιέργειας με διάταξη λυσιμέτρου, τοποθετημένου στο κέντρο του θερμοκηπίου. Η συσκευή αποτελείται από μια ηλεκτρονική ζυγαριά, με δίσκο που περιλαμβάνει 3 φυτά. Παράλληλα υπάρχει ανεξάρτητο σύστημα τροφοδοσίας και στράγγισης του θρεπτικού διαλύματος. Έτσι, καθώς η εξάτμιση από το υπόστρωμα είναι μηδενική, η απώλεια βάρους που καταγράφεται στη ζυγαριά ισοδυναμεί με τη διαπνοή των φυτών.
- Η παροχή ενέργειας πραγματοποιούνταν από αερόθερμο και τους επιδαπέδιους σωλήνες. Για κάθε ένα από τα δύο συστήματα θέρμανσης χρησιμοποιήθηκε ξεχωριστή διάταξη, έτσι ώστε να είναι εφικτή η μέτρηση της παρεχόμενης ενέργειας από τα δύο συστήματα, η οποία περιελάμβανε: ένα ροόμετρο (WZE, απλής ριπής τύπου πτερωτής), τοποθετημένο στην είσοδο του ζεστού νερού σε ηλεκτρονικούς παλμούς και ένα ζεύγος αισθητήρων (Thermistor 5 KΩ) και στην έξοδο του νερού επιστροφής. Η παροχή ενέργειας Eh σε W από κάθε σύστημα χωριστά υπολογίζονταν σύμφωνα με τη σχέση:

$$E_{th} = [\rho q_w Q_w (T_{in} - T_{out})]\Delta t \quad (1)$$

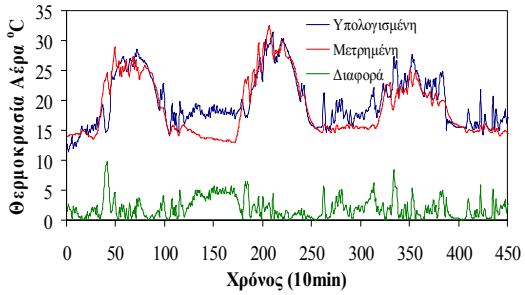
όπου q_w είναι η ειδική θερμότητα του νερού σε J kg^{-1} $^oC^{-1}$, Q_w είναι η παροχή του νερού σε m^3s^{-1}, T_{in} και T_{out} είναι οι θερμοκρασίες εισόδου και εξόδου του νερού σε °C και Δt είναι το χρονικό διάστημα στο οποίο το νερό κυκλοφορεί στο σύστημα σε s.

Για την συλλογή, την αρχική επεξεργασία και την καταγραφή των δεδομένων χρησιμοποιήθηκε σύστημα συλλογής και καταγραφής δεδομένων (DL 3000, Delta-T Devices, Cambridge, UK). Οι μετρήσεις λαμβάνονταν κάθε 30 δευτερόλεπτα (30s) και καταγράφονταν η μέση τιμή τους κάθε 10 λεπτά (10m).

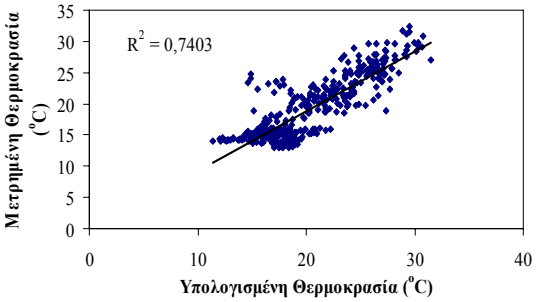
4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

4.1. Βαθμονόμηση του ισοζυγίου ενέργειας του αέρα

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων της θερμοκρασίας του αέρα, για τρεις τυχαίες ημέρες απεικονίζονται στο *σχήμα 1*. Παρατηρήθηκε ότι η αλλαγή της κλίσης που ακολουθεί η πορεία αύξησης και μείωσης της θερμοκρασίας του αέρα, τόσο στις μετρημένες όσο και στις υπολογισμένες τιμές πραγματοποιείται στο ίδιο χρονικό διάστημα. Μικρές αποκλίσεις παρουσιάζουν οι παραγόμενες από τις μετρημένες τιμές για κάποια χρονικά διαστήματα. Η συσχέτιση των μετρημένων με τις υπολογισμένες τιμές παρουσιάζεται στο *σχήμα 2*. Ο βαθμός συσχέτισης είναι 66% και αποδεικνύει τη σχετική απόκλιση που παρουσιάζουν οι υπολογισμένες από τις μετρημένες τιμές. Η μέγιστη ποσοστιαία διαφορά των μετρημένων από τις υπολογισμένες τιμές, κυμάνθηκε στο επίπεδο του 30%. Η απόκλιση θεωρείται μικρή και επιτρέπει τη χρήση του κλιματικού προσομοιώματος για τον προσδιορισμό της θερμοκρασίας του αέρα.



Σχήμα 1. Διακύμανση των τιμών της θερμοκρασίας του αέρα (°C) από τις 3 έως τις 5 Μαρτίου 2006

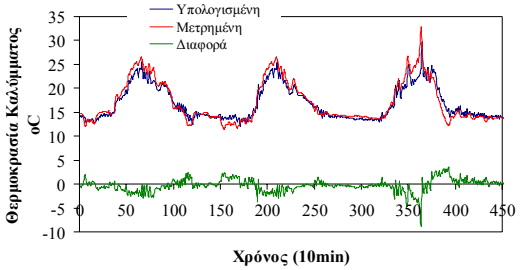


Σχήμα 2. Συσχέτιση μετρημένων και υπολογισμένων τιμών της θερμοκρασίας του αέρα (°C) από τις 3 έως τις 5 Μαρτίου 2006

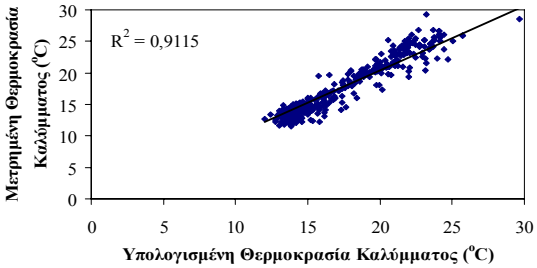
4.2. Βαθμονόμηση του ισοζυγίου ενέργειας του καλύμματος

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων της θερμοκρασίας του καλύμματος, για τρεις τυχαίες ημέρες απεικονίζονται στο *σχήμα 3*. Παρατηρήθηκε ότι η αλλαγή της κλίσης που ακολουθεί η πορεία αύξησης και μείωσης της θερμοκρασίας, τόσο στις μετρημένες όσο και στις υπολογισμένες τιμές πραγματοποιείται στο ίδιο χρονικό διάστημα. Μικρές αποκλίσεις παρουσιάζουν οι παραγόμενες από τις μετρημένες τιμές για κάποια χρονικά διαστήματα. Η συσχέτιση των μετρημένων με τις υπολογισμένες τιμές παρουσιάζεται στο *σχήμα 4*. Ο βαθμός συσχέτισης είναι 91% και αποδεικνύει τη μικρή απόκλιση που παρουσιάζουν οι υπολογισμένες από τις μετρημένες τιμές. Η μέγιστη ποσοστιαία

διαφορά των μετρημένων από τις υπολογισμένες τιμές, κυμάνθηκε στο επίπεδο του 25-30%. Η απόκλιση θεωρείται μικρή και επιτρέπει τη χρήση του κλιματικού προσομοιώματος για τον προσδιορισμό της θερμοκρασίας του καλύμματος.



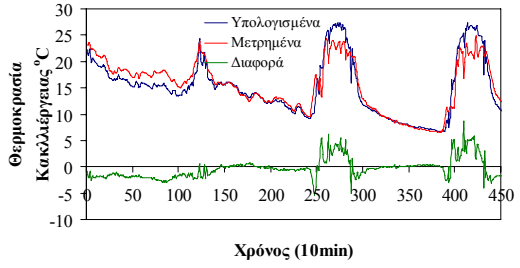
Σχήμα 3. Διακύμανση των τιμών της θερμοκρασίας του καλύμματος (°C) από τις 7 έως τις 10 Οκτωβρίου 2006



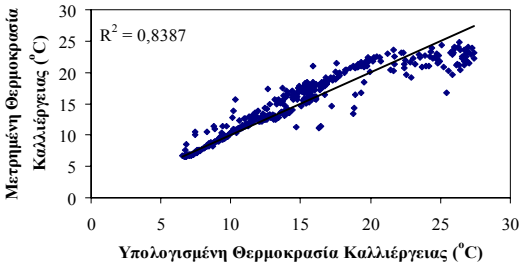
Σχήμα 4. Συσχέτιση μετρημένων και υπολογισμένων τιμών της θερμοκρασίας του καλύμματος (°C) από τις 7 έως τις 10 Οκτωβρίου 2006

4.3. Βαθμονόμηση του ισοζυγίου ενέργειας της καλλιέργειας

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων της θερμοκρασίας της καλλιέργειας, για τρεις τυχαίες ημέρες απεικονίζονται στο σχήμα 5. Παρατηρήθηκε ότι η αλλαγή της κλίσης που ακολουθεί η πορεία αύξησης και μείωσης της θερμοκρασίας, τόσο στις μετρημένες όσο και στις υπολογισμένες τιμές πραγματοποιείται στο ίδιο χρονικό διάστημα. Αποκλίσεις παρουσιάζουν οι παραγόμενες από τις μετρημένες τιμές για κάποια χρονικά διαστήματα. Η συσχέτιση των μετρημένων με τις υπολογισμένες τιμές παρουσιάζεται στο *σχήμα 6*. Ο βαθμός συσχέτισης είναι 83% και αποδεικνύει την απόκλιση που παρουσιάζουν οι υπολογισμένες από τις μετρημένες τιμές. Η μέγιστη ποσοστιαία διαφορά των μετρημένων από τις υπολογισμένες τιμές, κυμάνθηκε στο επίπεδο του 40%. Η απόκλιση θεωρείται μικρή και επιτρέπει τη χρήση του κλιματικού προσομοιώματος για τον προσδιορισμό της θερμοκρασίας της καλλιέργειας.



Σχήμα 5. Διακύμανση των τιμών της θερμοκρασίας της καλλιέργειας (°C) από τις 17 έως τις 19 Δεκεμβρίου 2006



Σχήμα 6. Συσχέτιση μετρημένων και υπολογισμένων τιμών της θερμοκρασίας της καλλιέργειας (°C) από τις 17 έως τις 19 Δεκεμβρίου 2006

Τα αποτελέσματα του φυσικού προσομοιώματος αποδίδουν με ικανοποιητική ακρίβεια τις κλιματικές συνθήκες στο εσωτερικό του θερμοκηπίου καθώς επιβεβαιωθήκαν με τη χρήση των πειραματικών δεδομένων και συμφωνούν με τα αποτελέσματα που προέκυψαν κατά τη χρήση του φυσικού προσομοιώματος των Pieter και Deltour, [6]. Η μείωση των διαφορών που παρουσιάζονται με τις πραγματικές τιμές αναμένεται να συμβάλει στη δημιουργία ενός φυσικού προσομοιώματος που θα ικανοποιεί την ανάγκη των παραγωγών για έλεγχο των κλιματικών μεταβολών στο εσωτερικό των θερμοκηπιακών μονάδων.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η βαθμονόμηση του φυσικού προσομοιώματος παρά τις μικρές αποκλίσεις που παρουσιάζουν οι υπολογισμένες τιμές δίνει τη δυνατότητα χρησιμοποίησής του για τον έλεγχο του κλίματος στο εσωτερικό των θερμοκηπιακών μονάδων. Η περαιτέρω ανάπτυξή του και η σύνδεση του με ένα βιολογικό προσομοίωμα αναμένεται να συμβάλει στην βελτιστοποίηση της παραγωγικής διαδικασίας και να στηρίξει αποτελεσματικά την εκλογή στρατηγικών διαχείρισης από τους παραγωγούς.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η εργασία αυτή έγινε στα πλαίσια υποέργου ΠΕΝΕΔ2003 (Μέτρο 8.3 του Ε.Π. Ανταγωνιστικότητα – Γ΄ Κ.Π.Σ.), το οποίο συγχρηματοδοτείται κατά 90% από δημόσιες δαπάνες (75% της δημόσιας δαπάνης από την Ευρωπαϊκή Ένωση – Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο και 25% της δημόσιας δαπάνης από το Ελληνικό Δημόσιο – Υπουργείο Ανάπτυξης – Γενική Γραμματεία Έρευνας και Τεχνολογίας) και κατά 10% από τον ιδιωτικό τομέα (ΑΓΡΕΚ Κ. ΣΑΜΑΝΤΟΥΡΟΣ Α.Ε.).

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Pluimers J. C., Kroeze C., Bakker E. J., Challa H. and Hordijk L., 2000. Quantifying the environmental impact of production in agriculture and horticulture in The Netherlands: which emissions do we need to consider? *Agricultural Systems*, 66: 167-189.
2. van Straten G., Challa H. and Buwalda F., 2000. Towards user accepted optimal control of greenhouse climate. *Computers and Electronics in Agriculture*, 26: 221-238.
3. Clarke N. D., Shipp J. L., Papadopoulos A. P., Jarvis W. R., Khosla S., Jewett T. J. and Ferguson G., 1999. Development of the Harrow Greenhouse Manager: a

decision-support system for greenhouse cucumber and tomato. *Computers and Electronics in Agriculture*, 24:195-204.
4. Pieters J.; Deltour J., 1997. Performances of greenhouses with the presence of condensation on cladding material. *Journal of Agricultural Engng. Res*., 68: 125-137.
5. Singh G., Singh P.P., Singh Lubana P. P., and Singh K.G., 2006. Formulation and validation of a mathematical model of the microclimate of a greenhouse. *Renewable Energy*, 31: 1541-1560.
6. Ghosal M.K. and Tiwari G.N., 2006. Modeling and parametric studies for thermal performance of an earth to air heat exchanger integrated with a greenhouse. *Energy Conversion and Management*, 47: 1779-1798.
7. Ghosal M.K., Tiwari G.N., and Srivastava N. S. L., 2004. Thermal modeling of a greenhouse with an integrated earth to air heat exchanger: an experimental validation. *Energy and Buildings*, 36: 219-227.
8. Jolliet, O., 1994. HORTITRANS, a model for predicting and optimizing humidity and transpiration in greenhouses. *Journal of Agricultural Engineering Research,* 57: 23-37.
9. Gijzen H., Heuvelink E., Marcelis L.F.M., Dayan E., Cohen S., Fuchs M., Challa H. 1998. HORTISIM: a model for greenhouse crops and greenhouse climate. *Acta Hort.,* 456: 2005.

(225)

ΜΕΛΕΤΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑΤΟΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ ΤΟΜΑΤΑΣ ΓΙΑ ΟΡΘΟΛΟΓΙΚΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΟΥ ΚΛΙΜΑΤΟΣ ΣΕ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟ ΣΠΟΡΟΦΥΤΩΝ

Ν. Κατσούλας, Κ. Πεπονάκης, Δ. Πετσάνη, Κ. Κίττας
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμ. Γεωπονίας, Φυτ. Παρ. & Αγρ. Περιβάλλοντος, Εργ. Γεωργικών Κατασκευών & Ελέγχου Περιβάλλοντος. Οδός Φυτόκου, Ν. Ιωνία Μαγνησίας, 38446, Βόλος, nkatsoul@uth.gr, ckittas@uth.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η ανάπτυξη προσομοιωμάτων που περιγράφουν την ανάπτυξη της καλλιέργειας συναρτήσει του μικροκλίματος των θερμοκηπίων αποτελεί εργαλείο μέσω του οποίου θα μπορούσε να επιτευχθεί ορθολογική ρύθμιση του μικροκλίματος για προγραμματισμένη παραγωγή υγιών και ομοιόμορφων φυτών. Για το σκοπό αυτό πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις ανάπτυξης σε καλλιέργεια σποροφύτων τομάτας οι οποίες συγκρίθηκαν με τις τιμές που προέβλεψε το προσομοίωμα tomgro. Η σύγκριση των τιμών έδειξε ότι το προσομοίωμα δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως έχει αλλά μόνο μετά από προσαρμογή για καλλιέργεια σποροφύτων και επαναβαθμονόμηση.

STUDY OF A TOMATO CROP GROWTH MODEL FOR OPTIMAL CLIMATE MANAGEMENT OF A NURSERY GREENHOUSE CROP

N. Katsoulas, C. Peponakis, D. Petsani, C. Kittas
University of Thessaly, Dept. of Agriculture, Crop Production & Rural Envir., Lab. of Agricultural Construct. & Env. Cont., Fytokou St., 38446, N. Ionia, Magnesia, Greece

ABSTRACT

Models describing crop growth as a function of the greenhouse microclimate could be a valuable tool for greenhouse microclimate optimization and control, for high quality production of healthy seedlings at fixed dates. Aim of this work was to study the efficiency of a tomato crop growth model (tomgro) in predicting the growth of a tomato seedlings crop. On this purpose, tomato seedlings were cultivated and measurements of seedlings growth were conducted. The results were compared with the values predicted by the model. The comparison between measured and estimated values did not gave good results and showed that the model can not be used as is, but only after recalibration and adaptation for tomato seedlings crop.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η καλλιέργεια λαχανοκομικών ειδών υπό κάλυψη έγινε ιδιαίτερα απαιτητική όσον αφορά την ποιότητα κατά τη διάρκεια των τελευταίων ετών. Βασική προϋπόθεση για την παραγωγή ποιοτικών προϊόντων είναι το σωστό ξεκίνημα της καλλιέργειας με σπορόφυτα καλής ποιότητας. Στις καλλιέργειες σποροφύτων, που έχουν ως στόχο την παραγωγή υγιών, σκληραγωγημένων και ομοιόμορφων φυτών σε καθορισμένες ημερομηνίες και ποσότητες, ο έλεγχος του περιβάλλοντος πρέπει να είναι αυστηρός και ακριβής. Ως εκ τούτου, η διαχείριση του εξοπλισμού για τη ρύθμιση του μικροκλίματος είναι ιδιαίτερα σημαντική για μια θερμοκηπιακή μονάδα παραγωγής σποροφύτων. Μεταξύ των παραγόντων του μικροκλίματος που επηρεάζουν την ανάπτυξη των σποροφύτων είναι η θερμοκρασία του αέρα, η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας και η συγκέντρωση του CO_2 [1]. Η ανάπτυξη προσομοιωμάτων που περιγράφουν την ανάπτυξη της καλλιέργειας συναρτήσει των παραπάνω παραμέτρων του μικροκλίματος αποτελεί ένα εργαλείο μέσω του οποίου θα μπορούσε να επιτευχθεί ορθολογική ρύθμιση του μικροκλίματος για προγραμματισμένη παραγωγή υγιών και ομοιόμορφων φυτών με ταυτόχρονη αξιοποίηση των ενεργειακών εισροών και εξοικονόμηση ενέργειας.

Είναι γεγονός ότι μέχρι σήμερα δεν έχει προταθεί κάποιο προσομοίωμα για την πρόβλεψη της ανάπτυξης καλλιέργειας σπορόφυτων τομάτας. Τα προσομοιώματα ανάπτυξης τομάτας που έχουν αναπτυχθεί εστιάζουν στο παραγωγικό στάδιο της καλλιέργειας. Στο στάδιο αυτό υπάρχει ταυτόχρονη ανάπτυξη βλαστικών και αναπαραγωγικών οργάνων και η καλλιέργεια βρίσκεται σε στάδιο γραμμικής αύξησης της βιομάζας της συναρτήσει του χρόνου. Αντίθετα τα σπορόφυτα δεν έχουν αναπαραγωγικά όργανα, καθώς παραδίδονται στους παραγωγούς το αργότερο όταν έχει εμφανιστεί και πριν ανθίσει η πρώτη ταξιανθία, στάδιο μέχρι το οποίο η αύξηση της βιομάζας τους είναι εκθετική συνάρτηση του χρόνου [2]. Οι Pucheta et al. [3] σε προσπάθεια που έχουν κάνει για τον βέλτιστο έλεγχο της καλλιέργειας σπορόφυτων τομάτας, χρησιμοποίησαν το προσομοίωμα TOMGRO [4]. Το προσομοίωμα TOMGRO είναι δοκιμασμένο για προσομοίωση καλλιέργειας τομάτας, ωστόσο δεν έχει δοκιμαστεί για καλλιέργεια σπορόφυτων. Επίσης, το προσομοίωμα αυτό δεν μπορεί να προσομοιώσει χαρακτηριστικά απαραίτητα για τον ποιοτικό χαρακτηρισμό των σπορόφυτων, όπως το ύψος του φυτού, οι διαστάσεις της κόμης του φυτού, το πάχος του βλαστού, ο χρόνος εμφάνισης πρώτης ταξιανθίας κ.α. Η χρήση βέλτιστου ελέγχου μπορεί να μειώσει κατά 10% το κόστος θέρμανσης, ωστόσο για επιτυχή βέλτιστο έλεγχο απαιτείται ένα αξιόπιστο προσομοίωμα ανάπτυξης [5].

Άλλα προσομοιώματα καλλιέργειας τομάτας είναι τα TOMSIM [6] και HORTISIM [7], με το δεύτερο να αποτελεί ένα προσομοίωμα που στοχεύει γενικά στην προσομοίωση θερμοκηπιακών καλλιεργειών. Τα παραπάνω είναι στοχαστικά προσομοιώματα και δεν έχουν δοκιμαστεί για καλλιέργεια σπορόφυτων.

Τέλος, θα πρέπει να σημειωθεί ότι στη βιβλιογραφία δεν έχουν αναφερθεί στατιστικά προσομοιώματα για την προσομοίωση καλλιέργειας τομάτας ή σποροφύτων τομάτας, αν και η κατάλληλη μεθοδολογία στατιστικής μοντελοποίησης έχει αναπτυχθεί [8, 9].

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι η μελέτη της αποτελεσματικότητας του TOMGRO, ενός προσομοιώματος καλλιέργειας τομάτας, στην πρόβλεψη της ανάπτυξης σποροφύτων τομάτας.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1. Το θερμοκήπιο και η καλλιέργεια

Το πείραμα διήρκησε από 23 Φεβρουαρίου έως 19 Μαρτίου 2007 και πραγματοποιήθηκε στο Αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας στο Βελεστίνο, σε τροποποιημένο τοξωτό θερμοκήπιο έκτασης 300 m^2 με κάλυψη από διπλό φύλλο πολυαιθυλενίου στην οροφή και γυαλί στις πλευρές. Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του θερμοκηπίου ήταν: μήκος 30 m, πλάτος 10 m, ύψος ορθοστάτη 2.9 m, ύψος κορφιά 4.1 m.

Η θέρμανση των θερμοκηπίων γινόταν με αερόθερμο και επιδαπέδιους πλαστικούς σωλήνες. Ο αερισμός των θερμοκηπίων γινόταν με τη βοήθεια παραθύρων τοποθετημένων στα πλάγια και την οροφή του θερμοκηπίου τα οποία άνοιγαν αυτόματα όταν η θερμοκρασία ξεπερνούσε τους 28ºC. Η μέση θερμοκρασία νύχτας ήταν 19,4ºC και η μέση θερμοκρασία ημέρας ήταν 25ºC.

Η καλλιέργεια είχε εγκατασταθεί σε δίσκους σποράς μεγέθους 60 x 80 cm. Ο κάθε δίσκος είχε 150 φυτά, που αντιστοιχεί σε περίπου 312 φυτά/m^2. Η άρδευση γινόταν σε τακτά χρονικά διαστήματα ώστε να υπάρχει επάρκεια εφοδιασμού των φυτών με νερό και η λίπανση της καλλιέργειας γινόταν δύο φορές την εβδομάδα με διαφυλλικό λίπασμα 20-20-20 που περιείχε και τα απαραίτητα μικροστοιχεία.

2.2 Το προσομοίωμα τομάτας TOMGRO

Το TOMGRO αναπτύχθηκε για την προσομοίωση της ανάπτυξης ποικιλιών τομάτας ακαθορίστου μήκους βλαστού. Η πρώτη έκδοση του εμφανίστηκε το 1993. Σήμερα, το TOMGRO βρίσκεται στην 3η έκδοση του και έχει χρησιμοποιηθεί και επιβεβαιωθεί σε αρκετές εργασίες για καλλιέργεια τομάτας. Το προσομοίωμα για τον υπολογισμό της δέσμευσης CO_2 βασίζεται στην εξίσωση του Acock. Η εξίσωση το Acock θεωρείται επαρκής όταν πρόκειται να χρησιμοποιηθεί για την πρόβλεψη της παραγωγής μιας καλλιέργειας [10]. Ο υπολογισμός της δέσμευσης CO_2 πραγματοποιείται σε χρονικά διαστήματα μίας ώρας και η παραγόμενη ποσότητα CH_2O αθροίζεται. Στο τέλος της ημέρας γίνεται η κατανομή των προϊόντων της αφομοίωσης. Το TOMGRO χωρίζει την καλλιέργεια σε φυσιολογικές κλάσεις, ο καθορισμός των οποίων έχει γίνει εμπειρικά. Σε μία φυσιολογική κλάση ανήκουν όργανα με την ίδια περίπου φυσιολογική ηλικία.

Αρχικά υπολογίζεται η ζήτηση (sink strength) των διαφόρων οργάνων ανά φυσιολογική κλάση και στη συνέχεια προχωράει γίνεται η κατανομή με βάση το βαθμό κάλυψης της ζήτησης. Εξαίρεση αποτελεί το ριζικό σύστημα, η αύξηση του οποίου αντιμετωπίζεται επιφανειακά.

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε η πρώτη έκδοση του προσομοιώματος με κάποιες τροποποιήσεις ώστε να ταιριάζει στην καλλιέργεια σπορόφυτων τομάτας. Οι τροποποιήσεις έγιναν διότι τα σπορόφυτα δεν διαθέτουν άνθη και καρπούς. Επίσης τα ηλικιωμένα φύλλα που διαθέτουν είναι 3-4 εβδομάδων, οπότε δεν υπάρχει μείωση απόδοσης λόγω γήρανσης ή θανάτου βλαστικών οργάνων. Έτσι αφαιρέθηκαν οι εξισώσεις και τμήματα εξισώσεων που σχετίζονταν με τα άνθη, τους καρπούς και τον ρυθμό γήρανσης και θανάτου των φύλλων. Τέλος οι φυσιολογικές κλάσεις μειώθηκαν σε πέντε, από είκοσι του αρχικού προσομοιώματος, καθώς η χρονική διάρκεια μιας καλλιέργειας σπορόφυτων και ο βαθμός ανάπτυξης τους είναι μικρότερος. Οι τιμές των διάφορων φυσιολογικών και στατιστικών σταθερών έμειναν ως είχαν.

2.3 Οι μετρήσεις

Σε σύστημα συλλογής και επεξεργασίας δεδομένων κάθε 10 λεπτά (μέτρηση κάθε 30 δευτερόλεπτα) καταγραφόταν η θερμοκρασία και η σχετική υγρασία του αέρα καθώς και η ένταση της ακτινοβολίας στα τρία τμήματα του θερμοκηπίου.

Παράλληλα, με τη χρήση ενός φορητού φασματοφωτόμετρου, ανά τακτά χρονικά διαστήματα γινόταν μέτρηση της φασματικής κατανομής της προσπίπτουσας στα φυτά ακτινοβολίας για τα μήκη κύματος από 300 έως 1100 nm.

Τέλος, κάθε εβδομάδα, επιλέγονταν τυχαία 25 φυτά τμήμα του θερμοκηπίου-μεταχείριση και καταγραφόταν το ύψος και πλάτος των φυτών, ο αριθμός των κόμβων, το μήκος των μεσογονατίων διαστημάτων, το μήκος και πλάτος του 1ου φύλλου και η φυλλική επιφάνεια, καθώς και το χλωρό και ξηρό βάρος των βλαστών, των φύλλων και του ριζικού συστήματος

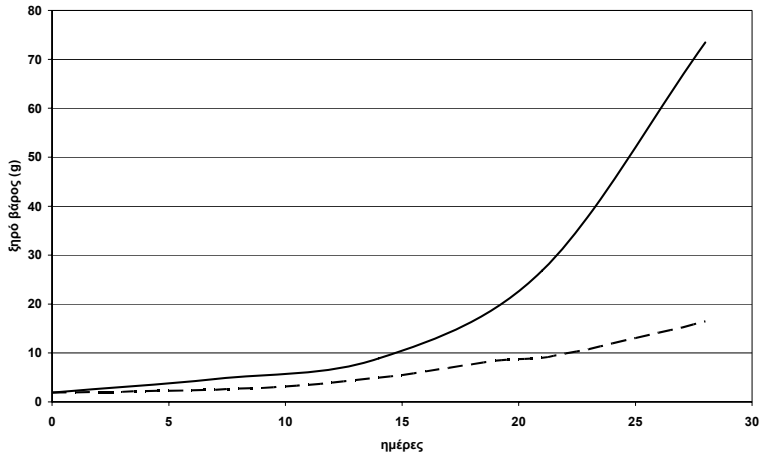
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Για την προσομοίωση χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα θερμοκρασίας, έντασης ηλιακής ακτινοβολίας και συγκέντρωσης CO_2 εντός του θερμοκηπίου, από τις 19 Φεβρουαρίου έως τις 19 Μαρτίου. Με βάση τις τιμές που έδωσε το προσομοίωμα για το ξηρό βάρος (*Σχήμα 1*) διαπιστώθηκε ότι απέτυχε να προβλέψει την αύξηση του ξηρού βάρους, υποεκτιμώντας την τελική τιμή καθώς την προέβλεψε ίση με περίπου το 1/4 της πραγματικής. Στα πρώτα στάδια (δύο πρώτες εβδομάδες) η προβλεπόμενη τιμή αντιστοιχούσε περίπου στο 50% της πραγματικής. Στη συνέχεια η διαφορά μεγαλώνει καθώς η αύξηση των σπορόφυτων είναι εκθετική και στα τελευταία στάδια ο ρυθμός αύξησης μεγαλώνει. Σε κάποιο βαθμό αυτό οφείλεται στη περιορισμένη ζήτηση των μεταβολιτών από τα βλαστικά μέρη, με αποτέλεσμα η καλλιέργεια να χρησιμοποιεί λιγότερα από ότι, σύμφωνα με το προσομοίωμα, είναι σε θέση να παράγει. Η περιορισμένη ζήτηση, εν μέρη, οφείλεται στη χαμηλή τιμή του δυνητικού ρυθμού αύξησης των φύλλων που χρησιμοποιεί το προσομοίωμα. Κατά μέσο όρο ο ρυθμός αύξησης της καλλιέργειας ήταν 10πλάσιος του ρυθμού αύξησης που δίνεται ως δυνητικός ρυθμός από το προσομοίωμα (*Πίνακας 1*). Αρχικά, και έως τις πρώτες δύο εβδομάδες, ο ρυθμός αύξησης είναι μικρότερος, ενώ από την τρίτη εβδομάδα και ύστερα αυξάνεται εκθετικά, φτάνοντας να είναι τριακονταπλάσιος του θεωρούμενου ως δυνητικού από το προσομοίωμα.

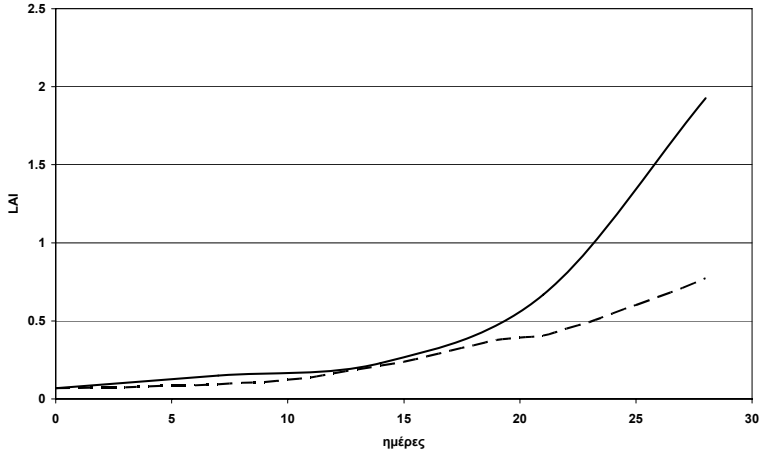
Πίνακας 1. Δυνητικός ρυθμός αύξησης και πραγματικός ανάλογα με το στάδιο ανάπτυξης της καλλιέργειας (%). Για την περίπτωση των μετρήσεων το 100% αναλογεί σε 30 ημέρες

	10%	20%	30%	40%	50%
	60%	70%	80%	90%	100%
Δυνητικός	0,007	0,0016	0,0031	0,0032	0,0032
	0,0032	0,0032	0,0032	0,0032	0
Πραγματικός	0,00075	0,0014	0,0026	0,0048	0,0090
	0,01688	0,0313	0,0583	0,1087	0,2027

Όπως φαίνεται στο *Σχήμα 2* ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας επίσης υποεκτιμάται. Αν ωστόσο εξετάσουμε το δείκτη φυλλικής επιφάνειας συναρτήσει του ξηρού βάρους των φύλλων παρατηρούμε ότι διαφέρει κατά περίπου 30% από τη φυλλική επιφάνεια της πραγματικής καλλιέργειας με το ίδιο ξηρό βάρος. Εδώ θα πρέπει να σημειωθεί ότι το προσομοίωμα υπερεκτιμά την ειδική φυλλική επιφάνεια, κάτι το οποίο σημαίνει ότι θα έπρεπε να υποεκτιμά και τη φυλλική επιφάνεια. Η τιμή της ειδικής φυλλικής επιφάνειας όπως υπολογίζεται από το προσομοίωμα είναι περίπου 0,06 $m^2 \cdot g^{-1}$ καθ' όλη τη διάρκεια της καλλιέργειας, όταν στην πραγματικότητα η τιμή του αρχικά είναι 0,06 $m^2 \cdot g^{-1}$ φθίνοντας τελικά προς τη τιμή 0,04 $m^2 \cdot g^{-1}$.



Σχήμα 1. Συνολικό ξηρό βάρος. Με τη συνεχόμενη γραμμή απεικονίζεται η μετρημένη τιμή και με τη διακεκομμένη γραμμή η υπολογισμένη τιμή

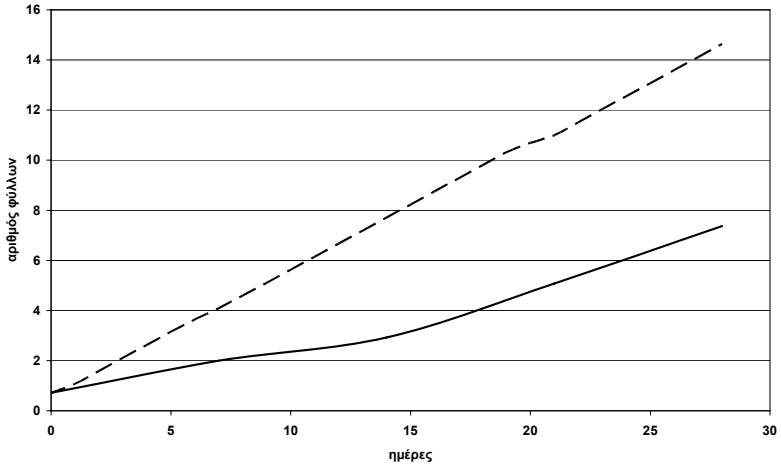


Σχήμα 2. Δείκτης φυλλικής επιφάνειας. Με τη συνεχόμενη γραμμή απεικονίζεται η μετρημένη τιμή και με τη διακεκομμένη γραμμή η υπολογισμένη τιμή.

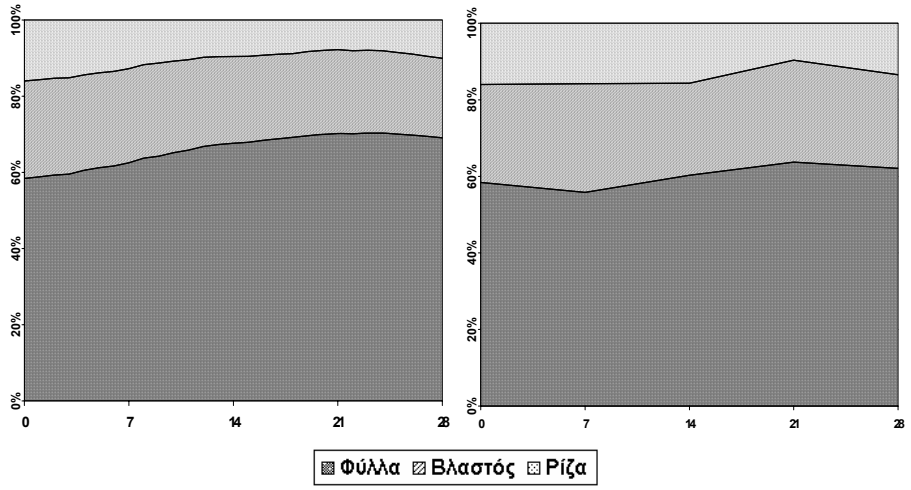
Ο αριθμός των φύλλων, αντίθετα με τα παραπάνω, υπερεκτιμάται (*Σχήμα 3*). Ο τελικός αριθμός φύλλων που προβλέπεται από το προσομοίωμα είναι διπλάσιος από τον πραγματικό. Ο αριθμός των φύλλων μπορεί να επηρεαστεί από πλήθος παραγόντων, ωστόσο ιδιαίτερη επίδραση φαίνεται να έχει ο δυνητικός ρυθμός εμφάνισης νέων φύλλων που στο προσομοίωμα έχει τιμή 0,55 φύλλα/ ημέρα. Μια δεύτερη παρατήρηση έχει να κάνει με τη σχεδόν γραμμική, ανεξάρτητη της αύξησης του ξηρού βάρους, αύξηση του αριθμού των φύλλων. Στην πραγματικότητα ο ρυθμός εμφάνισης νέων φύλλων επηρεάζεται από το ρυθμό αύξησης του ξηρού βάρους.

Η κατανομή του ξηρού βάρους στα διάφορα μέρη του φυτού φαίνεται να είναι το μόνο μέγεθος που πλησιάζει στις μετρήσεις., αν και στα παρακάτω διαγράμματα φαίνεται να υπάρχει σημαντική διαφορά (*Σχήμα 4*). Συγκρίνοντας όμως το λόγο ξηρό βάρος φύλλων προς ξηρό βάρος βλαστού υπάρχει κάποια συμφωνία. Το προσομοίωμα όσο προχωράει η καλλιέργεια αλλάζει το λόγο ξηρού βάρους φύλλων προς ξηρός βάρος βλαστών προς όφελος των φύλλων. Από 2,28 που είναι η αρχική τιμή καταλήγει στο

3,31. Στην πραγματικότητα ο λόγος αυτός κυμαίνεται μεταξύ 2,0-2,5. Επίσης το προσομοίωμα αγγίζει επιφανειακά την κατανομή ξηράς ουσίας στο ριζικό σύστημα, ενώ παράλληλα περιορίζει το ποσοστό του ξηρού βάρους του ριζικού συστήματος στο 9% του συνολικού ξηρού βάρους. Αυτό ισχύει για μια ανεπτυγμένη καλλιέργεια, ωστόσο στην περίπτωση της καλλιέργειας σπορόφυτων τομάτας το ποσοστό του ξηρού βάρους του ριζικού συστήματος είναι 10-15% του συνολικού ξηρού βάρους, όπως εξάλλου βρέθηκε και από τις πειραματικές.



Σχήμα 3. Αριθμός φύλλων ανά φυτό. Με τη συνεχόμενη γραμμή απεικονίζεται η μετρημένη τιμή και με τη διακεκομμένη γραμμή η υπολογισμένη τιμή.



Σχήμα 4. Κατανομή ξηράς ουσίας στα φύλλα, το βλαστό και το ριζικό σύστημα

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Με βάση τις μετρήσεις που έγιναν και τα αποτελέσματα που έδωσε η τροποποιημένη έκδοση του TOMGRO (βασισμένη στην 1η έκδοση), το προσομοίωμα απέτυχε να

προβλέψει σωστά την ανάπτυξη της καλλιέργειας σπορόφυτων τομάτας, δίνοντας τιμές που απέκλιναν σημαντικά από τις αντίστοιχες μετρημένες τιμές.

Αυτό οφείλεται στις σημαντικές διαφορές που υπάρχουν μεταξύ μιας παραγωγικής καλλιέργειας και μιας καλλιέργειας σπορόφυτων. Τα σπορόφυτα αναπτύσσονται εκθετικά σε σχέση με το χρόνο, ενώ μια ανεπτυγμένη καλλιέργεια αναπτύσσεται γραμμικά. Επίσης ο μέσος δυνητικός ρυθμός αύξησης των σπορόφυτων είναι μεγαλύτερος από το δυνητικό ρυθμό αύξησης μιας παραγωγικής καλλιέργειας.

Ένα δεύτερο σημείο που χρίζει σημαντικής βελτίωσης είναι ο υπολογισμός της ειδικής φυλλικής επιφάνειας, όπως επίσης και του λόγου ξηρού βάρους μίσχων προς ξηρού βάρους φύλλων.

Διόρθωσης επίσης χρίζει και ο συντελεστής μείωσης του φωτός εντός της φυλλοστιβάδας για το PAR. Στις καλλιέργειες σπορόφυτων τα φύλλα δεν σκιάζονται παρά μονάχα προς το τέλος της καλλιέργειας, όπου και πάλι ο βαθμός σκίασης των κατώτερων φύλλων είναι μικρός.

Τέλος ο αριθμός των φυσιολογικών κλάσεων και ο αριθμός των μελών ανά φυσιολογική κλάση επηρεάζουν τη συμπεριφορά του προσομοιώματος. Ο καθορισμός τους, όπως αναφέρθηκε, στο αρχικό προσομοίωμα έχει γίνει εμπειρικά και στο τροποποιημένο που χρησιμοποιήθηκε απλώς μειώθηκε ο αριθμός των κλάσεων. Ενδεχομένως να είναι απαραίτητος ο επανακαθορισμός του αριθμού των κλάσεων και κυρίως του αριθμού των μελών μιας κλάσης.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Tremblay Nicolas and André Gosselin, 1998, Effect of Carbon Dioxide Enrichment and Light, HortTechnology October - December 1998 8(4).
2. Goudriaan J. and H.H. van Laar, 1994, Modelling Potential Crop Growth Processes: Textbook with Exercises, Kluwer Academic Publishers, pp. 239.
3. Pucheta A. J., C. Schugurensky, R. Fullana, H. Patiño, B. Kuchen, 2006, Optimal greenhouse control of tomato-seedling crops, Computers and Electronics in Agriculture 50 (2006) 70–82.
4. Dayan E., H. van Keulen, J. W. Jones, I. Zipori, D. Shmuel and H. Challa, 1993b, Description of the model In: TOMGRO – a greenhouse-tomato simulation model, Editors: H. van Keulen and E. Dayan, 1993, pp. 3-14.
5. Gutman O.P., P.O. Lindberg, I. Ioslovich, I. Seginer, 1993, A Non-Linear Optimal Greenhouse Control Problem Solved by Linear Programming, J. agric. Engng Res. (1993) 55, 335-351.
6. Heuvelink E., 1995, Dry Matter Production in a Tomato Crop : Measurements and Simulation, Annals of Botany **75**: 369-379.
7. Plentinger M. C. and F.W.T. Penning de Vries (editors), 1996, CAMASE: Register of Agro-ecosystems Models, DLO-Research Institute for Agrobiology and Soil Fertility (AB-DLO).
8. Weiss R. E., 2005. Modeling longitudinal data. Springer.
9. Wu H., Zhang J. T., 2006. Nonparametric regression methods for longitudinal data analysis: Mixed effects modeling approaches. Wiley.
10. Pachepsky B. L., J. D. Haskett and B. Acock, 1996, An Adequate Model of Photosynthesis - I Parameterization, Validation and Comparison of Models, Agricultural Systems 50 (1996) 209-225.

22(7)

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΑΝΤΙΣΤΑΓΟΝΙΚΩΝ ΦΥΛΛΩΝ ΚΑΛΥΨΗΣ ΣΤΟ ΜΙΚΡΟΚΛΙΜΑ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ ΜΕ ΥΔΡΟΠΟΝΙΚΗ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΑΓΓΟΥΡΙΟΥ

Κ. Κίττας[1a, 2], Ν. Κατσούλας[1β], Χ. Μανωλαράκη[1], Θ. Μπαρτζάνας[2]

[1] Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμ. Γεωπονίας, Φυτ. Παρ. & Αγρ. Περιβάλλοντος, Εργ. Γεωργικών Κατασκευών & Ελέγχου Περιβάλλοντος. Οδός Φυτόκου, Ν. Ιωνία Μαγνησίας, 38446, Βόλος, [a]ckittas@uth.gr, [β]nkatsoul@uth.gr

[2] Κέντρο Έρευνας, Τεχν. & Ανάπτ. Θεσσαλίας, Ινστιτούτο Τεχνολογίας & Διαχείρισης Αγροοικοσυστημάτων, Τεχν. Πάρκο Θεσσαλίας, 1η Βιομ. Περιοχή, 38500, Βόλος,

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Έγιναν μετρήσεις σε τρία όμοια θερμοκήπια τα οποία ήταν καλυμμένα: το πρώτο με φύλλο πολυαιθυλενίου (PE) με αντισταγονικές (AD) και αντιομιχλικές (AF) ιδιότητες, το δεύτερο με φύλλο PE με AD ιδιότητες και το τρίτο (μάρτυρας), με κοινό φύλλο PE, προκειμένου να μελετηθεί η επίδραση των αντισταγονικών φύλλων στο μικροκλίμα του θερμοκηπίου και στην ανάπτυξη και παραγωγή υδροπονικής καλλιέργειας αγγουριού. Ενώ η παραγωγή ήταν παρόμοια και στα τρία θερμοκήπια, βρέθηκε ότι η σχετική υγρασία στο θερμοκήπιο με το AD-AF φύλλο παρουσίασε τις μικρότερες τιμές, κάτι που οδήγησε σε μείωση των ψεκασμών που πραγματοποιήθηκαν στο θερμοκήπιο αυτό.

EFFECTS OF ANTI-DRIP COVER MATERIALS ON THE MICROCLIMATE OF A GREENHOUSE CULTIVATED WITH A CUCUMBER CROP

C. Kittas[1a, 2], N. Katsoulas[1b], Ch. Manolaraki[1], T. Bartzanas[2]

[1] University of Thessaly, Dept. of Agriculture, Crop Production & Rural Envir., Lab. of Agricultural Construct. & Env. Cont., Fytokou St., 38446, N. Ionia, Magnesia, Greece

[2]Centre for Research and Technology, Institute of Technology and Agricultural Ecosystems, Technology Park of Thessaly, 1st Ind. Area of Volos, 38500 Volos, Greece

ABSTRACT

Measurements were carried out under three greenhouses covered by different cover materials: the first was covered by a PE film with anti-drip (AD) and anti-fog (AF) properties, the second covered by a PE film with AD properties and the last covered by a common PE film, in order to study the effects of the AD films on greenhouse microclimate and on growth and production of a hydroponic cucumber crop. The results showed that the crop production was not affected by the different films. However, the air relative humidity levels were lower under the AD-AF greenhouse, something that led to less needs for fungicides spraying under that greenhouse.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ένα από τα μεγαλύτερα προβλήματα των θερμοκηπίων κατά τη διάρκεια της χειμερινής περιόδου είναι τα υψηλά επίπεδα υγρασίας που παρατηρούνται στο εσωτερικό τους, ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια της νύχτας. Τα υψηλά επίπεδα υγρασίας σε συνδυασμό με χαμηλές θερμοκρασίες αέρα του εξωτερικού περιβάλλοντος οδηγούν σε συμπύκνωση των υδρατμών στην εσωτερική πλευρά του καλύμματος του θερμοκηπίου, οι οποίοι συνήθως πέφτουν με τη μορφή σταγόνων νερού στην επιφάνεια της καλλιέργειας δημιουργώντας έτσι ευνοϊκές συνθήκες για την ανάπτυξη και εξάπλωση διαφόρων μυκητολογικών ασθενειών.

Για την αντιμετώπιση του προβλήματος οι παραγωγοί είτε αφυγραίνουν το θερμοκήπιο (με ταυτόχρονη θέρμανση και αερισμό), ή/και χρησιμοποιούν χημικά φυτοπροστατευτικά προϊόντα. Η απαίτηση όμως των καταναλωτών για προϊόντα απαλλαγμένα από χημικά υπολείμματα, η οποία γίνεται ολοένα και μεγαλύτερη, σε συνδυασμό με την αύξηση των τιμών των καυσίμων, οδήγησε στην αναζήτηση εναλλακτικών μεθόδων για τη ρύθμιση των υψηλών επιπέδων υγρασίας. Μία τέτοια μέθοδος είναι η χρήση αντισταγονικών φύλλων κάλυψης των θερμοκηπίων.

Για τα αντισταγονικά υλικά κάλυψης η μέχρι τώρα έρευνα επικεντρώθηκε στις οπτικές ιδιότητες των υλικών. Οι Geola et al [1] χρησιμοποίησαν ένα πειραματικό θερμοκήπιο μικρής κλίμακας έτσι ώστε να διερευνήσουν την επίδραση ενός αντισταγονικού υλικού στη διαπερατότητα στην ηλιακή ακτινοβολία. Οι ίδιοι ερευνητές μελέτησαν και τη γήρανση του αντισταγονικού υλικού. Η αντοχή και η αποτελεσματικότητα των αντισταγονικών υλικών μελετήθηκαν από άλλους ερευνητές [2,3] προσδιορίζοντας διάφορες παραμέτρους, όπως τη μεταβολή των ειδικών προσθέτων που προσδίδουν στο υλικό τις αντισταγονικές ιδιότητες με το χρόνο, της γωνίας που σχηματίζεται μεταξύ των σταγόνων νερού και της επιφάνειας του υλικού κάλυψης και του μεγέθους των σταγόνων. Τέλος η επίδραση των συμπυκνώσεων στην εσωτερική επιφάνεια του καλύμματος στη διαπερατότητα του υλικού κάλυψης, στον συντελεστή μεταφοράς θερμότητας και στο μικροκλίμα και την καλλιέργεια μελετήθηκε από διάφορους ερευνητές [4,5,6].

Όσον αφορά το σύστημα αφύγρανσης, έχουν γίνει εργασίες τόσο για τη βελτιστοποίηση της διαχείρισης του κλασικού συστήματος θέρμανσης- αερισμού, όσο και για την ανάπτυξη και εφαρμογή συστημάτων αφύγρανσης με διαφορετική αρχή λειτουργίας. Οι εργασίας βελτιστοποίησης της διαχείρισης του συστήματος αφορούσαν κυρίως τη μοντελοποίηση του ισοζυγίου υδρατμών του αέρα στο εσωτερικό του θερμοκηπίου και στη συνέχεια τον υπολογισμό των βέλτιστων ορίων υγρασίας [7,8,9]. Οι εργασίες οι οποίες αναφέρονται στην εφαρμογή κάποιου συστήματος διαφορετικού από το κλασικό σύστημα αφύγρανσης αναφέρονται κυρίως στην αφύγρανση: α) με τη χρησιμοποίηση κάποιου υγροσκοπικού υλικού [10], β) με χρήση αντλιών θερμότητας [11] και γ) την εξαναγκασμένη εναλλαγή του αέρα με τη βοήθεια συστήματος ανεμιστήρων [9]. Πρόσφατα, οι Kittas and Bartzanas [12], μελέτησαν την επίδραση διαφόρων τύπων ανοιγμάτων αερισμού στην αποτελεσματικότητα της μεθόδου αυτής για αφύγρανση στο θερμοκήπιο.

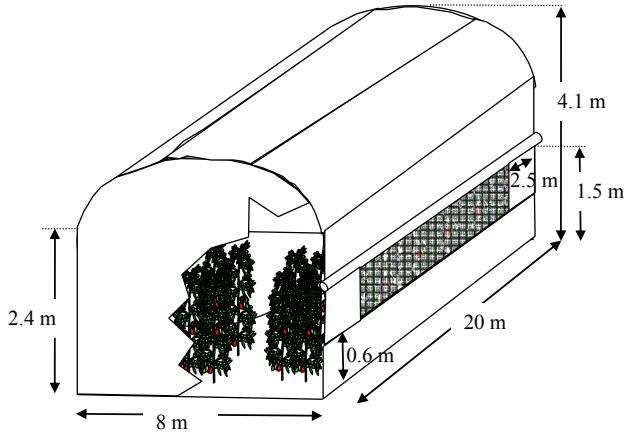
Παρόλα αυτά, δεν υπάρχουν εργασίες στις οποίες να διερευνάται η επίδραση των αντισταγονικών υλικών κάλυψης, στο μικροκλίμα του θερμοκηπίου, στην καλλιέργεια και στην εμφάνιση και ανάπτυξη μυκητολογικών ασθενειών. Έτσι, στην εργασία αυτή διερευνάται πειραματικά η επίδραση δύο αντισταγονικών φύλλων κάλυψης των θερμοκηπίων στο μικροκλίμα του θερμοκηπίου και στην ανάπτυξη και παραγωγή υδροπονικής καλλιέργειας αγγουριού.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1. Το θερμοκήπιο και η καλλιέργεια

Τα πειράματα έγιναν κατά τη χειμερινή περίοδο 2006-07, στο Αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας στο Βελεστίνο, σε τρία όμοια τροποποιημένα τοξωτά θερμοκήπια έκτασης 160 m^2 το καθένα. Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των θερμοκηπίων ήταν: μήκος 20 m, πλάτος 8 m, ύψος ορθοστάτη 2.4 m, ύψος κορφιά 4.1 m. Το έδαφος των θερμοκηπίων ήταν πλήρως καλυμμένο με αδιαφανές, διπλής όψεως ασπρόμαυρο πλαστικό. Ένα θερμοκήπιο χρησιμοποιήθηκε ως μάρτυρας και καλύφθηκε με κοινό πλαστικό φύλλο πολυαιθυλενίου (PE). Τα άλλα δύο θερμοκήπια καλύφθηκαν το πρώτο με φύλλο PE με αντισταγονικές (AD) και αντιομιχλικές (AF) ιδιότητες (AD+AF) και το δεύτερο με φύλλο PE με AD ιδιότητες. Το πάχος των φύλλων ήταν 0.18 mm της βιομηχανίας «Πλαστικά Κρήτης ΑΒΕΕ».

Η θέρμανση των θερμοκηπίων γινόταν με αερόθερμα και επιδαπέδιους σωλήνες θέρμανσης, με τη θερμοκρασία του αέρα να διατηρείται στους 16ºC κατά τη διάρκεια της νύχτας και τους 19ºC κατά τη διάρκεια της ημέρας. Ο αερισμός των θερμοκηπίων γινόταν με τη βοήθεια παραθύρων τοποθετημένων στα πλάγια του θερμοκηπίου τα οποία άνοιγαν αυτόματα όταν η θερμοκρασία του αέρα ξεπερνούσε τους 23ºC.



Σχήμα 1. Σχηματική παράσταση ενός εκ των τριών πειραματικών θερμοκηπίων.

Στο θερμοκήπιο εγκαταστάθηκε το Σεπτέμβριο του 2006, υδροπονική καλλιέργεια αγγουριού (cv. *Cucumis sativus*) σε υπόστρωμα περλίτη. Η καλλιέργεια είχε εγκατασταθεί σε τέσσερις διπλές σειρές με αποστάσεις φύτευσης 0.33 m επί της γραμμής και 0.75 m μεταξύ των γραμμών της διπλής σειράς, με πυκνότητα 2.1 φυτά/m^2. Η άρδευση και λίπανση της καλλιέργειας γινόταν αυτόματα με σύστημα ελεγχόμενο από ηλεκτρονικό υπολογιστή. Το κλάδεμα και η διαμόρφωση της καλλιέργειας γινόταν σύμφωνα με την τεχνική που ακολουθείται από τους παραγωγούς.

2.2 Οι μετρήσεις

Σε σύστημα συλλογής και επεξεργασίας δεδομένων (model DL-3000, Delta-T devices, Cambridge, U.K.) κάθε 10 λεπτά (μέτρηση κάθε 30 δευτερόλεπτα) καταγραφόταν:

Έξω από το θερμοκήπιο: η θερμοκρασία και η σχετική υγρασία του αέρα (model H08-032-08, HOBO instruments, Bourne, MA, U.S.A.) και η ολική ηλιακή ακτινοβολία (model CM-6, Kipp and Zonen, Delft, the Netherlands).

Μέσα στα θερμοκήπια: η θερμοκρασία και η σχετική υγρασία του αέρα (model H08-032-08, HOBO instruments, Bourne, MA, U.S.A.), η ολική ηλιακή ακτινοβολία (model CM-6, Kipp and Zonen, Delft, the Netherlands), η θερμοκρασία του καλύμματος του θερμοκηπίου (thermistors), η διαπνοή των φυτών (διάταξη λυσιμέτρου) και η ενέργεια που απέδιδε το σύστημα θέρμανσης.

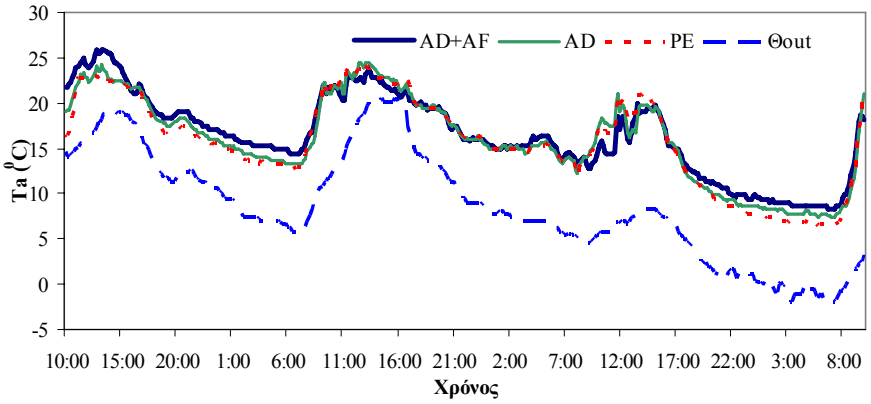
Επιπλέον, καταγραφόταν ο αριθμός, το βάρος και το μέγεθος των καρπών που συγκομίζονταν από κάθε θερμοκήπιο.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Οι μετρήσεις που έγιναν από το Σεπτέμβριο του 2006 έως τον Ιανουάριο του 2007 επέτρεψαν τη μελέτη και το χαρακτηρισμό των τριών θερμοκηπίων από πλευράς συνθηκών ακτινοβολίας, θερμοκρασίας και υγρασίας καθώς επίσης και τη μελέτη της επίδρασης των δύο αντισταγονικών υλικών κάλυψης στην παραγωγή της καλλιέργειας αγγουριού και την ανάπτυξη μυκητολογικών ασθενειών. Τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στη συνέχεια αφορούν την περίοδο από 1 έως 3 Νοεμβρίου 2006, τρεις χαρακτηριστικές ημέρες της περιόδου.

3.1 Θερμοκρασία αέρα

Στο *Σχήμα 2* παρουσιάζεται η πορεία της θερμοκρασίας του αέρα (T_a) εντός και εκτός των θερμοκηπίων από 1/11/06 έως 4/11/06. Φαίνεται ότι στα τρία θερμοκήπια η πορεία της θερμοκρασίας του αέρα ήταν παρόμοια και υψηλότερη σε σχέση με τη θερμοκρασία που επικρατούσε στην περιοχή. Η μέση τιμή της θερμοκρασίας του αέρα κατά τη διάρκεια της νύχτας (18:00 – 06:00), για τις ημέρες που παρουσιάζονται στην εργασία αυτή ήταν 14.5 °C, 14 °C και 13 °C για τα θερμοκήπια AD+AF, AD και PE, αντίστοιχα.

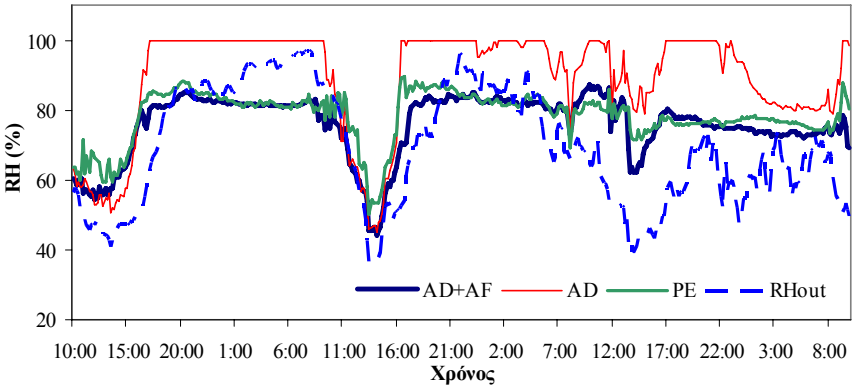


Σχήμα 2. Πορεία της θερμοκρασίας του αέρα (Ta) εντός και εκτός των θερμοκηπίων από 1/11/06 έως 4/11/06.

3.2 Σχετική υγρασία αέρα

Στο *Σχήμα 3* παρουσιάζεται η πορεία της σχετικής υγρασίας του αέρα εντός και εκτός των θερμοκηπίων από 1/11/06 έως 4/11/06. Η σχετική υγρασία του αέρα στα θερμοκήπια AD+AF και PE κυμαίνονταν σε παρόμοια επίπεδα, ενώ η σχετική υγρασία στο AD θερμοκήπιο διατηρούνταν σε πολύ υψηλά επίπεδα (90%-100%) τις ώρες που τα παράθυρα του θερμοκηπίου ήταν κλειστά. Η σχετική υγρασία φαίνεται ότι μειώνονταν κατά τις μεσημεριανές ώρες, όταν η θερμοκρασία στο εσωτερικό του θερμοκηπίου

ξεπερνούσε τους 23 °C, θερμοκρασία πάνω από την οποία γινόταν αερισμός του θερμοκηπίου. Η μέση τιμή της σχετικής υγρασίας του αέρα κατά τη διάρκεια της νύχτας (18:00 – 06:00), για τις ημέρες που παρουσιάζονται στην εργασία αυτή ήταν 80%, 97% και 81% για τα θερμοκήπια AD+AF, AD και PE, αντίστοιχα.



Σχήμα 3. Πορεία της σχετικής υγρασίας του αέρα (RH) εντός και εκτός των θερμοκηπίων από 1/11/06 έως 4/11/06.

Στο θερμοκήπιο AD τις νυχτερινές ώρες παρατηρούνταν υψηλή σχετική υγρασία (>93%) συνεχόμενα για αρκετές ώρες. Παρόλα αυτά δεν παρατηρήθηκαν προσβολές από *Botrytis cinerea* στην καλλιέργεια, καθώς σύμφωνα με τους Koerner & Challa [13] για την ανάπτυξη του βοτρύτη απαιτείται σχετική υγρασία >93% για περισσότερο από 48 ώρες συνεχόμενα, κάτι το οποίο δεν γινόταν λόγω του καλού αερισμού του θερμοκηπίου κατά τη διάρκεια της ημέρας, ο οποίος γινόταν ακόμα και όταν η εξωτερική θερμοκρασία του αέρα ήταν αρκετά χαμηλή.

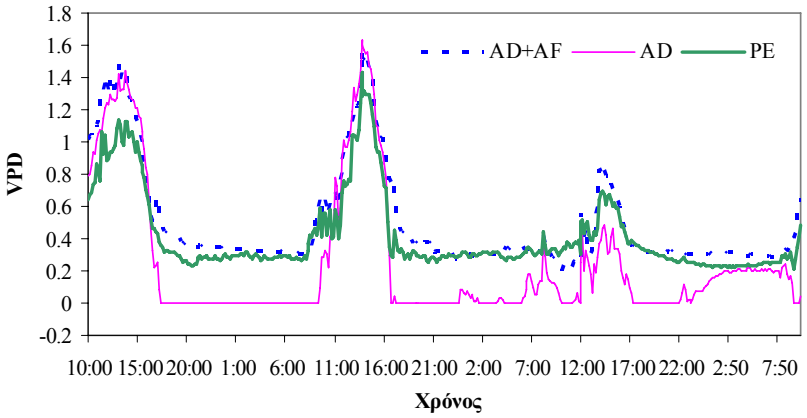
3.3 Έλλειμμα κορεσμού του αέρα

Στο *Σχήμα 4* παρουσιάζεται το έλλειμμα κορεσμού του αέρα εντός και εκτός των θερμοκηπίων από 1/11/06 έως 3/11/06.

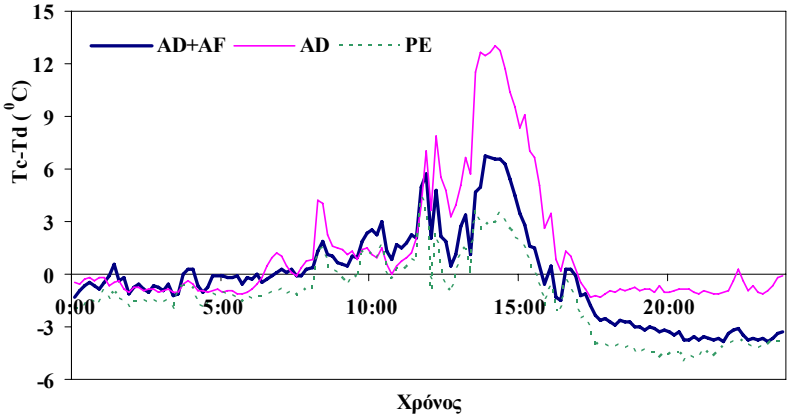
Το έλλειμμα κορεσμού του αέρα (VPD) στα θερμοκήπια AD+AF και PE κυμαίνονταν σε παρόμοια επίπεδα, ενώ στο AD θερμοκήπιο διατηρούνταν σε ιδιαίτερα χαμηλά επίπεδα (0-0.2 kPa), με εξαίρεση τις ώρες όπου τα παράθυρα των θερμοκηπίων ήταν ανοιχτά, περίοδος κατά την οποία το VPD αυξανόταν και στα τρία θερμοκήπια. Έχει παρατηρηθεί ότι χαμηλά επίπεδα VPD (0-0.2 kPa) οδηγούν σε αύξηση του ρυθμού αύξησης των φύλλων και σε έλλειψη ασβεστίου στους καρπούς [14,15]. Παρόλα αυτά, κάτι τέτοιο δεν παρατηρήθηκε κατά τη διάρκεια των πειραμάτων της εργασίας αυτής.

3.4 Συμπύκνωση στο κάλυμμα

Στο *Σχήμα 5* παρουσιάζεται η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ της θερμοκρασίας του καλύμματος της οροφής (T_c) και της θερμοκρασίας δρόσου του αέρα (T_d)στις 3/11/07.



Σχήμα 4. Έλλειμμα κορεσμού του αέρα (VPD) εντός και εκτός των θερμοκηπίων από 1/11/06 έως 3/11/06.



Σχήμα 5. Διαφορά μεταξύ της θερμοκρασίας του καλύματος (T_c) και της θερμοκρασίας κορεσμού (T_d) στις 3/11/07.

Φαίνεται ότι κατά τη διάρκεια της ημέρας (8:00-16:00) η διαφορά μεταξύ της θερμοκρασίας του καλύμματος και της θερμοκρασίας δρόσου του αέρα είναι θετική και συνεπώς δεν δημιουργούνται υγροποιήσεις στις επιφάνειες των καλυμμάτων των τριών θερμοκηπίων. Αντίθετα τις υπόλοιπες ώρες της ημέρας η διαφορά μεταξύ της θερμοκρασίας του καλύμματος και της θερμοκρασίας δρόσου του αέρα είναι αρνητική με αποτέλεσμα τη δημιουργία υγροποιήσεων στην επιφάνεια των καλυμμάτων και στα τρία θερμοκήπια. Η διαφορά μεταξύ της θερμοκρασίας του καλύμματος (T_c) και της θερμοκρασίας κορεσμού (T_d) στο θερμοκήπιο PE είναι μεγαλύτερη σε σχέση με τα υπόλοιπα θερμοκήπια, υποδηλώνοντας έτσι μεγαλύτερο ρυθμό υγροποιήσεων στην επιφάνεια του καλύμματος. Η έντονη υγροποίηση στην επιφάνεια του καλύμματος οδήγησε στην έντονη δημιουργία σταγόνων οι οποίες έπεφταν με τη σειρά τους στην επιφάνεια της καλλιέργειας, κάτι που σε συνδυασμό με τα υψηλά επίπεδα υγρασίας οδήγησε και στην εμφάνιση ωιδίου και περονόσπορου σε μεγαλύτερο βαθμό σε σχέση με τα άλλα δύο θερμοκήπια. Παράλληλα, στο AD θερμοκήπιο, ακόμα και αν δεν υπήρχε πτώση σταγόνων από το κάλυμμα στην επιφάνεια της καλλιέργειας, τα υψηλά επίπεδα σχετικής υγρασίας που παρατηρήθηκαν οδήγησαν επίσης στην ανάπτυξη ωιδίου. Το

γεγονός αυτό είχε ως αποτέλεσμα την εφαρμογή περίπου διπλάσιων ψεκασμών με φυτοπροστατευτικά στα θερμοκήπια PE και AD σε σχέση με το AD+AF θερμοκήπιο. Έτσι, η χρήση του νέου AD+AF φύλλου κάλυψης των θερμοκηπίων οδήγησε σε μείωση των ψεκασμών στο θερμοκήπιο και στην παραγωγή «καθαρότερων» προϊόντων με λιγότερα χημικά υπολείμματα.

3.4 Επίδραση στην καλλιέργεια-παραγωγή

Κατά τη διάρκεια της πειραματικής περιόδου καταγραφόταν ο αριθμός παραγόμενων καρπών ανά θερμοκήπιο καθώς και το βάρος των παραγόμενων καρπών (πίνακας 2). Παρά το γεγονός ότι οι κλιματικές συνθήκες, ιδιαίτερα όσον αφορά τη σχετική υγρασία του αέρα διέφεραν μεταξύ των τριών θερμοκηπίων, η παραγωγή της καλλιέργειας δεν επηρεάσθηκε καθώς βρέθηκε ότι το μέσο βάρος των καρπών και ο αριθμός των καρπών ανά m^{-2} δεν παρουσίασαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των τριών θερμοκηπίων.

Πίνακας 2. Μέσες τιμές βάρους καρπού και αριθμού καρπών κατά τη συγκομιδή (1/11/2006-18/12/2006). Ίδια γράμματα στην ίδια στήλη υποδηλώνουν ότι δεν υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές για p = 0.05.

	Μέσο βάρος καρπού (kg ανά καρπό)	Παραγωγή (αριθμός καρπών m-2)
Θερμοκήπιο AD+AF	173.21α	21.24α
Θερμοκήπιο AD	146.72α	19.34α
Θερμοκήπιο PE	115.12α	21.58α

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τα αποτελέσματα βρέθηκε ότι καθώς η θερμοκρασία του αέρα διατηρούνταν στα ίδια επίπεδα και στα τρία θερμοκήπια τα επίπεδα της σχετικής υγρασίας ήταν σημαντικά διαφορετικά μεταξύ των τριών θερμοκηπίων. Τα μεγαλύτερα επίπεδα σχετικής υγρασίας παρατηρήθηκαν στο θερμοκήπιο με το AD φύλλο πολυαιθυλενίου ενώ ακολουθούσε το θερμοκήπιο με το PE φύλλο. Οι υγροποιήσεις που παρατηρήθηκαν στο θερμοκήπιο με το PE φύλλο κάλυψης οδηγούσαν στην πτώση σταγόνων νερού στην επιφάνεια της καλλιέργειας κάτι το οποίο οδήγησε σε ανάπτυξη μυκητολογικών ασθενειών. Έντονη υγροποίηση αλλά χωρίς την πτώση σταγόνων στην επιφάνεια της καλλιέργειας παρατηρήθηκαν και στο θερμοκήπιο με το AD υλικό κάλυψης, κάτι το οποίο, σε συνδυασμό με τα υψηλά επίπεδα σχετικής υγρασίας βοήθησε στην ανάπτυξη μυκητολογικών ασθενειών. Βρέθηκε ότι η χρήση του AD+AF υλικού κάλυψης βοήθησε στη μείωση της ανάγκης ψεκασμών για μυκητολογικές ασθένειες στο μισό και στην παραγωγή «καθαρότερων» προϊόντων με λιγότερα χημικά υπολείμματα, ενώ δεν επηρέασε την παραγωγή της καλλιέργειας.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η εργασία αυτή έγινε στο πλαίσιο του έργου ΠΑΒΕΤ 2005: «Ανάπτυξη και αξιολόγηση αντισταγονικών φύλλων κάλυψης κατάλληλων για θερμοκήπια φιλικά στο περιβάλλον», το οποίο χρηματοδοτείθηκε από την Πλαστικά Κρήτης Α.Β.Ε.Ε και τη Γ.Γ.Έ.Τ. και την Ευρωπαϊκή Επιτροπή και ειδικότερα το Ε.Τ.Π.Α.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Geoola et al 2004 Geoola, F., Kashti, Y., Levi, A., Brickman, R., 2004. Quality evaluation of anti-drop properties of greenhouse cladding materials. P*olymer Testing*, 23:755–761
2. Moens, F, 1991. The use of surface active additives as anti-fog agents in agricultural films. *Proceedings of the 23rd Agricultural Plastics Congress*, pp 188-195.
3. Schultz, W. Bartnig, K., 1996. Evaluation of the non-drip properties of greenhouse cladding films. *Plasticulture*, 96(3): 23–33.
4. Pieters, J.G., Deltour, J.M., Debruyckere, K.J., 1994. Condensation and static heat transfer through greenhouse covers during night. *Transactions of the ASA*E, 37(6): 195-1972.
5. Pieters, J.G., Deltour, J.M., 1997. Performances of greenhouses with the presence of condensation on cladding materials. *J. Agric. Engng Res.,* 68: 125-137.
6. 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 (4): 419-428.
7. Jolliet O., 1993. Hortitrans, a model for predicting and optimizing humidity and transpiration in greenhouses. *Journal of Agricultural Engineering Research* 57:23-37.
8. Stanghellini C.,de Jong T., 1995. A model of humidity and its applications in a greenhouse. *Agricultural and Forest Meteorology*, 76:129-148.
9. De Hallaux D., Gauthier L., 1998. Energy consumption due to dehumidification of greenhouses under Northern latitudes. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 69: 35–42.
10. Peiper U.M., Levav N., Geoola F., Seginer I.., 1987. Experimental evaluation and mathematical model of an hygroscopic greenhouse dehumidifier, *Final Research Report.* BARD Project I39082, Bet-Dagan, Israel 1987.
11. Boulard T., Baille A., Lagier J., Mermier M., Vanderschmitt E., 1989. Water vapour transfer in a plastic house equipped with a dehumidification heat pump. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 44: 191-204.
12. Kittas, C., Brtzanas T., 2007. Greenhouse Microclimate and Dehumidification Effectiveness under Different Ventilators Configuration. *Energy and Buildings*, 42 (10): 3774-3784
13. Koerner O., Challa H., 2003. Process-based humidity control regime for greenhouse crops. Computers and Electronics in Agriculture 39: 173-192.
14. Banuelos, G.S., Offerman, G.P., Seim, E.C.,1985. High relative humidity promotes blossom-end rot on growing tomato fruit. *HortScience* 20 (5): 894-895.
15. Bakker J.C., Welles G.W.H. and van Uffelen J.A.M., 1987. The effects of day and night humidity on yield and quality of glasshouse cucumbers. *Journal of horticultural Science* 62 (3): 363-370.

Ενότητα 4:

Εδαφικοί Πόροι

(102)

ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗ ΒΟΡΙΟΥ ΑΠΟ ΥΔΡΟΞΕΙΔΙΑ ΚΑΙ ΟΞΕΙΔΙΑ ΤΟΥ ΜΑΓΓΑΝΙΟΥ

Κ. Π. Προδρόμου και Χ. Λάκης
Εργ. Εφαρμοσμένης Εδαφολογίας, Γεωπονική Σχολή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, kprodrom@agro.auth.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Μελετήθηκε η προσρόφηση του Β από $Mn(OH)_2$ που παρασκευάστηκε και παρουσιάζει ατελή κρυσταλλική οργάνωση σε σύγκριση με τον καλώς κρυσταλλωμένο πυρολουσίτη, MnO_2. Το $Mn(OH)_2$ προσροφά σχεδόν διπλάσια ποσότητα Β σε σχέση με το MnO_2. Ακολούθησε εκρόφηση του προσροφηθέντος Β από τα δύο υλικά με 0,01 Μ $CaCl_2$. Οι ποσότητες Β που εκροφήθηκαν ήταν 29,4% για το $Mn(OH)_2$ και 36,1% για το MnO_2 και αντιπροσωπεύουν την φυσική συνιστώσα της προσρόφησης. Οι παραμένουσες σε κατάσταση προσρόφησης ποσότητες του Β αποτελούν την χημική προσρόφηση. Το $Mn(OH)_2$ συγκρατεί χημικώς μεγαλύτερες τιμές Β σε σχέση με το MnO_2, γεγονός που οφείλεται στην κρυσταλλική του κατάσταση, στο πορώδες του στα ελεύθερα επιφανειακά του φορτία και πιθανώς στην ικανότητά του να σχηματίζει σύμπλοκες ενώσεις με το $B(OH)_4^-$.

BORON ADSORPTION ON POORLY CRYSTALLIZED $Mn(OH)_2$ AND MnO_2

Prodromou K.P and Chr. Lakis
Lab. of Applied Soil Science, Dep. of Agriculture , Aristotelian University of Thessaloniki, 54124, Thessaloniki, Greece, kprodrom@agro.auth.gr

ABSTRACT

Boron adsorption on non well crystallized $Mn(OH)_2$ that was prepared, as well as on pyrolusite MnO_2, was studied. The prepared $Mn(OH)_2$ was oxidized by air and MnOOH or $MnO_2.H_2O$ was formed. Manganese hydroxide appeared the lowest crystallinity and the highest specific area. This material adsorbed more than the double B quantity compared with well crystallized pyrolusite. Desorption of B was succeeded by $CaCl_2$ 0.01 M. Boron quantities extracted by $CaCl_2$, represent the physical adsorption and the remained B in the state of adsorption represent the chemical adsorption.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το Mn συμμετέχει στο πλέγμα όλων σχεδόν των σιδηρομαγνησιούχων ορυκτών των πετρωμάτων. Βρίσκεται στο έδαφος κυρίως υπό μορφή οξειδίων όπως MnO_2 πυρολουσίτης, Mn_2O_3 μπραουνίτης, Mn_3O_4 χαουσμανίτης, MnOOH μαγγανίτης, $MnSiO_3$ ροδονίτης, $MnCO_3$ ροδοχρωσίτης. Το Mn συναντάται στο έδαφος με διάφορα σθένη, άνάλογα με την τιμή pH του εδάφους και τις επικρατούσες οξειδοαναγωγικές συνθήκες, με αποτέλεσμα να καθίσταται πολύπλοκη η μελέτη του. Οξειδώνεται ταχύτατα κάτω από ισχυρώς αλκαλικές συνθήκες, σχηματίζοντας αδιάλυτες ενώσεις κυρίως με την οργανική ουσία, με αποτέλεσμα να παρατηρείται έλλειψη του στοιχείου στα φυτά. Σε αναγωγικές συνθήκες και όξινο pH έχουμε Mn^{2+}, διαλυτοποίηση των ενώσεών του και τη δημιουργία τοξικών συνθηκών για τα φυτά.

$$MnO_2 + 4H^+ + 2e^- \rightarrow Mn^{2+} + 2H_2O.$$

Γενικώς, τα οξείδια και υδροξείδια του Mn του εδάφους θεωρούνται ως άμορφα [5,6].

Τα οξείδια του Mn συμμετέχουν στο σχηματισμό συγκριμάτων με τα οξείδια του σιδήρου, κάτω από διαδοχικές οξειδοαναγωγικές συνθήκες. Στα οξείδια αυτά τα οποία παρουσιάζουν ατελή κρυσταλλική οργάνωση, συσσωρεύονται διάφορα συστατικά του εδάφους, ανιόντα και κατιόντα κυρίως φωσφορικά και βαρέων μετάλλων.

Το βόριο, είναι βασικό μικροστοιχείο για την ανάπτυξη των φυτών. Τα όρια συγκέντρωσης Β μεταξύ έλλειψης και τοξικότητας είναι στενά ώστε η διαχείρισή του να απαιτεί προσοχή, για την καλή ανάπτυξη των φυτών. Το Β βρίσκεται στο εδαφικό διάλυμα με τη μορφή του βορικού οξέος H_3BO_3 (ορθοβορικό H_3BO_3 ή βορακικό οξύ $B(OH)_3$), το οποίο είναι ένα ασθενές οξύ.

$$B(OH)_3 + H_2O \rightarrow B(OH)^-_4 + H^+$$

Ανιόντα ασθενών οξέων και κατιόντα, προσροφώνται ισχυρά στην επιφάνεια των οξειδίων και υδροξειδίων του μαγγανίου.

Σκοπός της ερευνητικής αυτής εργασίας ήταν η μελέτη της προσρόφησης και εκρόφησης του Β από $Mn(OH)_2$ με ατελή κρυσταλλική οργάνωση, σε σύγκριση με το καλώς κρυσταλλωμένο MnO_2.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1.Παρασκευασμένο $Mn(OH)_2$

Το $Mn(OH)_2$ παρασκευάστηκε στοιχειομετρικά σύμφωνα με την αντίδραση:

$$MnSO_4 + 2NH_4OH \rightarrow Mn(OH)_2 + (NH_4)_2SO_4$$

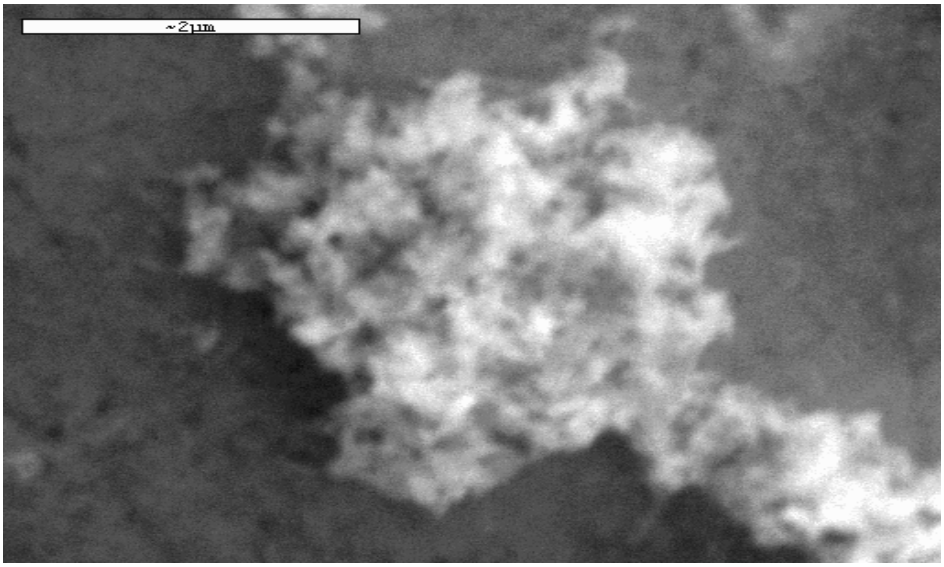
Ακολούθησαν δύο εκπλύσεις με H_2O (pH 7,0). Το ίζημα που σχηματίστηκε ήταν ροδόχρουν. Το σχηματιζόμενο $Mn(OH)_2$ είναι αδιάλυτο σε περίσσεια βάσεως και οξειδώνεται κατά την παραμονή του προς $Mn(OH)_3$ ή ορθότερο προς MnO(OH), χρώματος καστανού,

$$4Mn(OH)_2 + O_2 \rightarrow 4MnOOH + H_2O$$

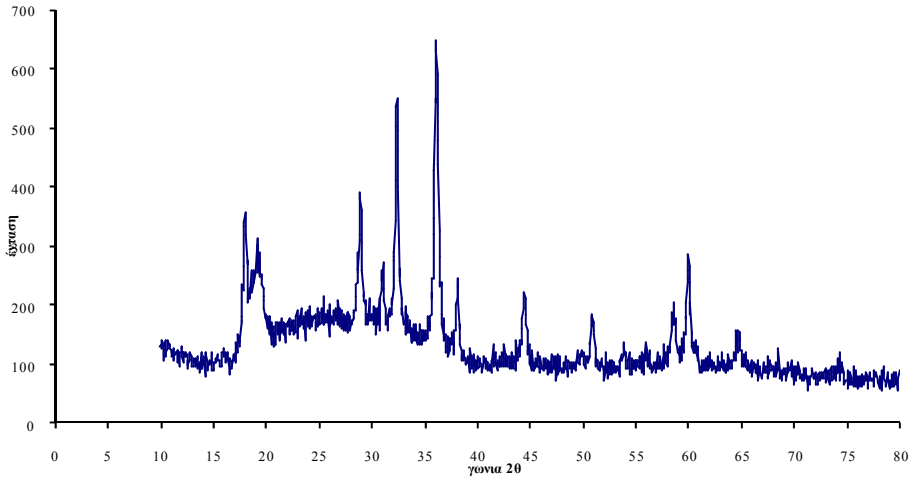
ή σχηματίζεται ένυδρο MnO_2,

$$2Mn(OH)_2 + O_2 \rightarrow 2MnO_2.H_2O$$

Στο Σχήμα 1 δίνεται το διάγραμμα των ακτίνων Röntgen του υλικού.



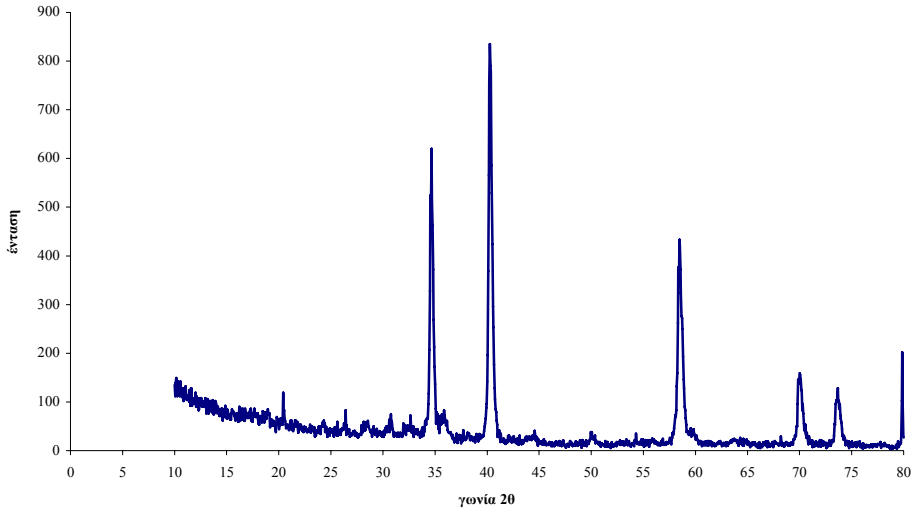
Φωτογραφία του υλικού που παρασκευάστηκε, από ηλεκτρονικό μικροσκόπιο.



Σχήμα 1. Διάγραμμα των ακτίνων Röntgen του $Mn(OH)_2$.

2.2.Πυρολουσίτης, MnO_2

Αντιδραστήριο της QP Panreac (211408), E.U. Στο σχήμα 2 δίνεται το διάγραμμα των ακτίνων Röntgen του αντιδραστηρίου.



Σχήμα 2. Διάγραμμα των ακτίνων Röntgen του MnO_2.

2.3.Διαδικασία προσρόφησης

Μετά την καταβύθιση και την έκπλυση του $Mn(OH)_2$ προστέθηκαν 25 ml διαλύματος Β συγκεντρώσεων 5,10, 20, 40, 60, 80, 100 και 160 ppm. Ακολούθησε ανακίνηση επί 30΄ και παραμονή σε ισορροπία επί 2, 24, 48, 72 και 144 ώρες, σε θερμοκρασία 25±0.2^o C. Η παραλαβή των διαλυμάτων ισορροπίας έγινε με φυγοκέντρηση στις 6000 – 7000 rpm επί 10΄ και διήθηση. Η τιμή του pH στα διαλύματα ισορροπίας ήταν 6,00 – 6,50.

Ο προσδιορισμός του Β έγινε με την μέθοδο της Azomethine-H [3].

Στην ίδια διαδικασία προσρόφησης Β υποβλήθηκε και το δείγμα του MnO_2

Όλες οι κατεργασίες και οι προσδιορισμοί έγιναν εις τριπλούν.

2.4 Διαδικασία εκρόφησης

Σε παρασκευασθέντα $Mn(OH)_2$ και σε MnO_2 προστέθηκαν οι μικρότερες ποσότητες Β που προσροφήθηκαν και οι οποίες αντιστοιχούσαν σε χρόνο ισορροπίας 144 ωρών. Στη συνέχεια ανακινήθηκαν επί 30΄ και παρέμειναν στο πυριατήριο στους 70° C σε ισορροπία επί 72 ώρες, μέχρι την πλήρη εξάτμιση του διαλύματος.

Κατόπιν προστέθηκαν 25 ml $CaCl_2$ 0,01 M και ακολούθησε ανακίνηση επί 15΄, φυγοκέντρηση στις 7000 rpm επί 10΄ και παραλαβή με διήθηση. Η διαδικασία αυτή έγινε δύο φορές. Στα εκχυλίσματα που ελήφθησαν, προσδιορίστηκε το Β.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Το $Mn(OH)_2$ που παρασκευάστηκε, οξειδώνεται με την πάροδο του χρόνου και μετατρέπεται σε MnOOH ή $MnO_2.H_2O$. Η μετατροπή αυτή καθίσταται εμφανής με τη μεταβολή του χρώματος του σχηματισθέντος ιζήματος από ρόδινο σε καστανό. Από τη σύγκριση των διαγραμμάτων των ακτίνων Röntgen διαπιστώνεται ότι το $Mn(OH)_2$ που παρασκευάστηκε είναι ατελώς κρυσταλλωμένο σε σχέση με το MnO_2.

Το MnO_2 ταυτοποιείται από την παρουσία των τριών κύριων ανακλάσεων στα 3,14, 2,41 και 1,63 Å (Powder Diffraction data for Minerals, 1974). Στην περίπτωση του $Mn(OH)_2$ οι κύριες ανακλάσεις ήταν στα 2,45, 4,72 και 1,83 Å. Τόσο τα ατελώς όσο και τα κρυσταλλικά οξείδια και υδροξείδια του μαγγανίου θεωρούνται ως ελεύθερα οξείδια

στο έδαφος και παραλαμβάνονται με την μέθοδο CBD (διθειονικού νατρίου) των Mehra και Jackson (1960).

Στο MnO_2 η μέγιστη τιμή της προσρόφησης του Β παρατηρήθηκε στον χρόνο ισορροπίας των 24 ωρών, ενώ η ελάχιστη στις 144 ώρες. Στην περίπτωση του $Mn(OH)_2$ η μέγιστη τιμή παρατηρήθηκε στις 24 και 48 ώρες, ενώ η ελάχιστη στον χρόνο ισορροπίας των 144 ωρών. Οι παρατηρούμενες πάντως διαφορές στις τιμές προσρόφησης του Β για τους διάφορους χρόνους ισορροπίας και για τις δύο ενώσεις ήταν μεταξύ τους στατιστικώς μη σημαντικές. Στους χρόνους ισορροπίας που χρησιμοποιήθηκαν δεν διαφοροποιήθηκε η ικανότητα προσρόφησης του $Mn(OH)_2$, γεγονός που δείχνει ότι στο χρονικό διάστημα των 144 ωρών δεν επήλθαν βασικές αλλαγές στην χημική και στην κρυσταλλική κατάσταση του υλικού.

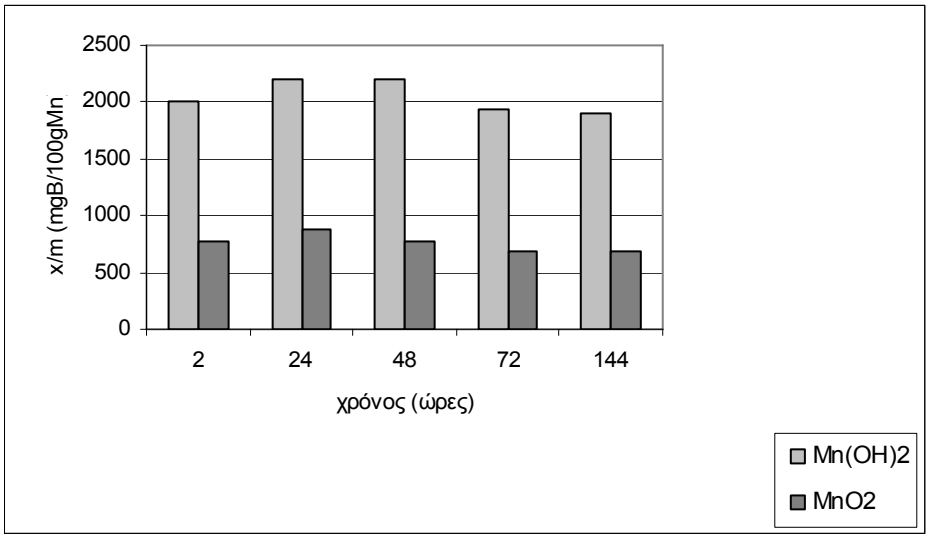
Το $Mn(OH)_2$ προσρόφησαν 2,5 φορές περισσότερο Β σε σχέση με τον πυρολουσίτη (Σχ. 3). Αυτό οφείλεται στην ατελή κρυσταλλική του κατάσταση και στο μεγάλο πορώδες του υλικού. Ανιόντα ασθενών οξέων και κατιόντα, προσροφώνται ισχυρά στην επιφάνεια των οξειδίων και υδροξειδίων του Mn. Η προσρόφηση λαμβάνει χώρα κυρίως στα επιφανειακά ελεύθερα φορτία και αναφέρεται ως ειδική προσρόφηση (specific adsorption). Τα ένυδρα οξείδια του αργιλίου, του σιδήρου και του μαγγανίου, θεωρούνται τα κύρια συστατικά του εδάφους στα οποία λαμβάνει χώρα η ειδική προσρόφηση [6]. Το $Mn(OH)_2$ παρουσιάζει μικρό βαθμό κρυσταλλικής οργάνωσης, μικρό μέγεθος κρυστάλλων, μεγάλη ειδική επιφάνεια, ισχυρό βαθμό συσσωμάτωσης ο οποίος αυξάνει με την πάροδο του χρόνου και μεγάλο πορώδες. Οι ιδιότητες αυτές του υλικού, ευνοούν τον υψηλό βαθμό προσροφητικής ικανότητας, όπως αναφέρεται και από άλλους ερευνητές [2,9].

Πίνακας 1. Τιμές των σταθερών της εξίσωσης Freundlich και το R^2 , που περιγράφουν την προσρόφηση του Β από το $Mn(OH)_2$ και το MnO_2.

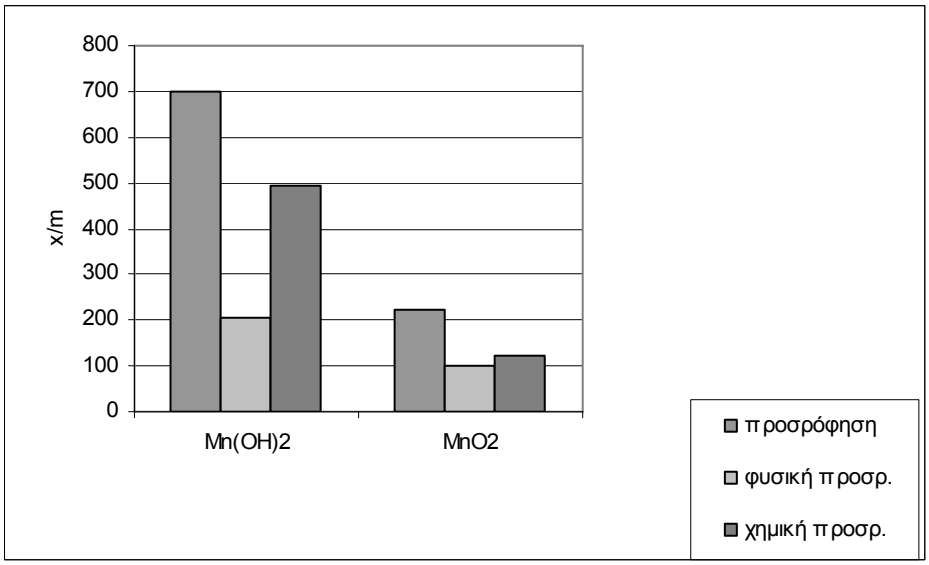
	$Mn(OH)_2$			MnO_2		
Χρόνος(ώρες)	k	n	R^2	k	n	R^2
2	30.439	0.95	0.9971	4.791	1.09	0.9755
24	31.589	0.99	0.9913	6.382	1.11	0.9869
48	56.291	0.85	0.9483	7.087	1.04	0.9927
72	22.223	1.00	0.9892	5.219	1.08	0.9766
144	23.458	0.98	0.9985	6.843	1.02	0.9852

Κατά τη διαδικασία της εκρόφησης του Β με 0,01 Μ $CaCl_2$, παρατηρούμε ότι κατά την πρώτη κατεργασία παραλαμβάνονται πολύ μεγαλύτερες ποσότητες Β σε σχέση με τη δεύτερη. Συνολικά κατά τις δύο κατεργασίες παραλαμβάνεται κατά Μ.Ο. το 29,4% του Β που προσροφήθηκε από το $Mn(OH)_2$, ενώ το υπόλοιπο 70,6% παρέμεινε σε κατάσταση προσρόφησης. Αντίθετα, στον πυρολουσίτη, απομακρύνθηκε κατά Μ.Ο. το 36,1% του Β, ενώ παρέμεινε προσροφημένο το 63,9%. Οι ποσότητες του Β που παρελήφθησαν κατά την διαδικασία της εκρόφησης, αντιπροσωπεύουν την φυσική συνιστώσα της προσρόφησης που συγκρατείται με ασθενείς δυνάμεις, ενώ η παραμένουσα σε κατάστ αση προσρόφησης ποσότητα Β, αντιπροσωπεύει την χημική προσρόφηση (Σχ.4.) Ο Brümmer (1986) αναφέρει ότι η προσρόφηση βαρέων μετάλλων από goethite, οξείδια του μαγγανίου, ιλλίτη, σμεκτίτες και από άλλα ορυκτά περιλαμβάνει τρία διαφορετικά στάδια: πρώτον επιφανειακή προσρόφηση, η οποία αποτελεί την φυσική προσρόφηση, δεύτερον τη διάχυση μέσα στα σωματίδια του ορυκτού και τρίτον την προσρόφηση και την συγκράτηση στα σωματίδια του ορυκτού που αποτελούν την χημική προσρόφηση. Στα στάδια αυτά, ανταποκρίνονται

ικανοποιητικά οι διαδικασίες προσρόφησης – εκρόφησης του Β από το $Mn(OH)_2$ και τον πυρολουσίτη.



Σχήμα 3.Σύγκριση των ποσοτήτων Β (Μ.Ο.) που προσροφήθηκαν από το $Mn(OH)_2$



Σχήμα 4. Σύγκριση των ποσοτήτων Β που παρελήφθησαν με $CaCl_2$, -φυσική προσρόφηση- και των ποσοτήτων Β που παρέμειναν σε κατάσταση προσρόφησης – χημική προσρόφηση

Το φαινόμενο της προσρόφησης του Β περιγράφεται από την εξίσωση του Freundlich, ($x/m = kC^n$), ενώ η προσαρμογή των πειραματικών δεδομένων στην εξίσωση του Langmuir δεν είναι ικανοποιητική. Στον πίνακα 1 δίδονται οι σταθερές της εξίσωσης του Freundlich.

Η υψηλή τιμή της χημικής συνιστώσας της προσρόφησης οφείλεται εκτός της δομής του $Mn(OH)_2$, πιθανόν και στην ικανότητά του να σχηματίζει σύμπλοκες ενώσεις με το $B(OH)_4^-$, με τους ίδιους μηχανισμούς που περιγράφονται από τους Keren και συν., 1994, για την περίπτωση του $Al(OH)_3$.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Brümmer, G.W., 1986. In: The Importance of Chemical Speciation in Environmental Processes. – Springer – Verlag, Berlin, pp169-192.
2. Goldberg, S. and Glaubig, R.A.,1985. Boron adsorption on aluminium and iron oxides minerals. Soil Sci. Soc. Amer. J. 49:1374-1379.
3. John,M.K., Chauah,H.H., and Neufeld, J.H., 1975. Application of improvedazomethine - H method to the determination of boron in soils and plants. Anal Lett. 8:559-568.
4. Keren, R., Grossl, P.R., and Sparks, D.L., 1994. Equilibrium and kinetics of borate adsorption – desorption on pyrophyllite in aqueous suspensions. Soil Sci. Amer.J.58: 1116-1122.
5. McKeague, J.A., A.W.H. Damman, and P.K. Heringa, 1968. Iron-manganese and other pans in some soils of Newfoundland. Can. J. Soil Sci. 48:243-253.
6. McKenzie, R.M., 1989. Manganese oxides and hydroxides. In: minerals in soil Environments, Dixon, J.B., Weed, S.B. eds, SSSA Book Ser. 1, 2nd edition, SSSA, WI, pp 439-465.
7. Mehra, O.P., and M.L. Jackson, 1960. Iron oxide removal from soils and clays by a dithionite – citrate system buffered with sodium bicarbonate. Clays and Clay Min. Seventh National Conf. on Clays and Clay Min. London, 317-327.
8. Sidhu, P.S., J.L. Sehgal, M.K. Sinha, and N.S. Randhawa, 1977. Composition and mineralogy of iron-manganese concretions from some soils of the Indo-Gangetic plain in northwest India. Geoderma 18:241-249.
9. Zhang, M., Karathanasis, A.D., 1997. Characterization of iron - manganese concretions in Kentucky Alfisols with perched water tables. Clays Clay Miner. 45:428-439.

(108)

ΟΔΗΓΙΕΣ ΛΙΠΑΝΣΗΣ ΚΑΙ ΑΡΔΕΥΣΗΣ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΑΓΡΟΤΕΜΑΧΙΟ ΜΕΣΩ ΕΔΑΦΟΛΟΓΙΚΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΔΗΜΩΝ Ν. ΚΟΖΑΝΗΣ

Φ. Παπαδόπουλος, Α. Παπαδόπουλος και Π. Τζιαχρής
Εθνικό Ίδρυμα Αγροτικής Έρευνας, Ινστιτούτο Εδαφολογίας Θεσσαλονίκης, Ελληνική Γεωργική Σχολή, Τ.Κ. 57001, Θέρμη Θεσσαλονίκης, frantzis.ssi@nagref.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός των εδαφολογικών μελετών των καλλιεργούμενων εκτάσεων επτά Δήμων του Ν. Κοζάνης, συνολικής έκτασης 400.000 στρεμμάτων, ήταν η εκτίμηση των αναγκών λίπανσης και άρδευσης των καλλιεργειών τους σε επίπεδο αγροτεμαχίου. Ελήφθησαν δείγματα εδάφους από επιλεγμένα με GPS σημεία, των οποίων τα αποτελέσματα των φυσικοχημικών αναλύσεων επεξεργάστηκαν (GIS) και προέκυψαν ο εδαφολογικός χάρτης και οι θεματικοί. Ο γεωπόνος χρήστης, κάνοντας «κλικ» σε οποιοδήποτε αγροτεμάχιο εντοπίζει στην οθόνη του Η/Υ, εκτυπώνει ένα τρισέλιδο με τις φυσικοχημικές ιδιότητες του εδάφους του και την ορθολογική λίπανση και άρδευση.

ΟΔΗΓΙΕΣ ΛΙΠΑΝΣΗΣ ΚΑΙ ΑΡΔΕΥΣΗΣ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΑΓΡΟΤΕΜΑΧΙΟ ΜΕΣΩ ΕΔΑΦΟΛΟΓΙΚΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΔΗΜΩΝ Ν. ΚΟΖΑΝΗΣ

F. Papadopoulos, A. Papadopoulos and P. Tziachris
National Agricultural Research Foundation, Soil Science Institute of Thessaloniki, 57001, Thermi-Thessaloniki, frantzis.ssi@nagref.gr

ABSTRACT

Soil studies are being conducted in the cultivated areas of seven municipalities of Kozani prefecture, with total extent 400.000 acres. Aim of these studies is the estimation of fertilization and irrigation needs at parcel level. Soil samples were taken with the use of GPS, and the laboratory results (physicochemical analysis) were processed by a G.I.S. system in order to develop the soil and thematic maps. The agriculturist user can locate certain parcels (using farmer name, parcel code, on screen) and print information regarding the physicochemical attributes of the soil and the proposed fertilization and irrigation.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η συστηματική απογραφή των εδαφικών πόρων αποτελεί εθνική, οικονομική και κοινωνική ανάγκη για τη χώρα μας. Η ορθολογική αξιοποίηση των εδαφικών πόρων απαιτεί την ύπαρξη σύγχρονου εδαφολογικού χάρτη, διαφορετικά θα βασίζεται όχι στις σύγχρονες τεχνικές γνώσεις, αλλά στην «εμπειρία» και θα έχει πολύ μικρή πιθανότητα επιτυχίας. Άλλωστε και η νέα Κοινή Αγροτική Πολιτική (Κ.Α.Π) επιβάλλει την εφαρμογή ορθών γεωργικών πρακτικών (άρδευση, λίπανση, φυτοπροστασία κλπ.) από τους παραγωγούς, ως απαραίτητη προϋπόθεση για την επιδότησή τους.

Για τους παραπάνω λόγους, το Υπουργείο Μακεδονίας Θράκης, σε συνεργασία με τους Δήμους Σερβίων, Ελίμειας, Ασκίου, Ελληνσπόντου, Μουρικίου, Δημ. Υψηλάντου και της κοινότητας Λιβαδερού του Ν. Κοζάνης, ανέθεσε από τον Μάιο του 2005 στο Ινστιτούτο Εδαφολογίας Θεσσαλονίκης του ΕΘΙΑΓΕ την εδαφολογική μελέτη των καλλιεργούμενων εκτάσεών τους. Σκοπός των μελετών αυτών, οι οποίες είχαν πιλοτικό χαρακτήρα, ήταν η ακριβής εκτίμηση των αναγκών λίπανσης και άρδευσης των καλλιεργειών σε επίπεδο αγροτεμαχίου και η ενημέρωση του κάθε παραγωγού. Το μέσο κόστος των μελετών αυτών ήταν 1,50 ευρώ / στρέμμα, η δε συνολική γεωργική έκταση που μελετήθηκε ήταν περίπου 400.000 στρέμματα.

Στα πλαίσια των μελετών αυτών πάρθηκαν δείγματα εδάφους από τρία βάθη (0-30, 30-60 και 60-90 cm) από επιλεγμένα με GPS σημεία των αγροτικών περιοχών των υπόψη Δήμων. Τα σημεία δειγματοληψίας απείχαν μεταξύ τους 300 έως 500 μέτρα, ανάλογα με την ομοιομορφία του εδάφους, ενώ δείγματα εδάφους πάρθηκαν επίσης από αντιπροσωπευτικά προφίλ εδάφους των υπό μελέτη περιοχών. Με βάση τα αποτελέσματα των φυσικοχημικών αναλύσεων των δειγμάτων, που επεξεργάστηκαν μέσα από Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών, σε συνδυασμό με ειδικά λογισμικά, προέκυψαν σε ηλεκτρονική μορφή τόσο ο γενικός εδαφολογικός χάρτης από τοπογραφικό υπόβαθρο κλίμακας 1:5.000 όσο και οι επί μέρους θεματικοί χάρτες για μία σειρά 20 περίπου παραμέτρων (pH, θρεπτικά στοιχεία, βαρέα μέταλλα κ.λ.π.).

Η καινοτομία των υπόψη μελετών είναι ότι αναπτύχθηκε ειδικό λογισμικό το οποίο παρέχεται στον αρμόδιο γεωπόνο και του επιτρέπει μέσα από ένα απλό, και εύχρηστο περιβάλλον εργασίας στα ελληνικά, να έχει μια πλήρη και εποπτική άποψη της περιοχής του και των αγροτεμαχίων που υπάρχουν. Επιπλέον του δίνεται η δυνατότητα να εντοπίσει κάποιο αγροτεμάχιο με την χρήση των στοιχείων του παραγωγού, του κωδικού του ΟΣΔΕ ή κάνοντας «κλικ» στις ψηφιακές αεροφωτογραφίες της περιοχής, που έχει στη διάθεσή του στην οθόνη του Η/Υ. Τέλος μπορεί να εκτυπώσει ένα ενημερωτικό φυλλάδιο τριών σελίδων με τα αποτελέσματα της φυσικοχημικής ανάλυσης του εδάφους του, την προτεινόμενη ορθολογική λίπανση και την άρδευση της καλλιέργειας που επιθυμεί ο παραγωγός για το συγκεκριμένο αγροτεμάχιο.

1. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1. Χαρτογράφηση εδαφών με χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (G.I.S)

Η εφαρμογή του GIS (Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών), στα πλαίσια της μελέτης αυτής, έγινε μέσω του λογισμικού Arc Info 8.02 και Arc View 3.2 σε εξοπλισμό NT-Workstation και Desktop PC, του Ινστιτούτου Εδαφολογίας Θεσσαλονίκης. Σε αυτό το λογισμικό εισάγονται και αποθηκεύονται γεωγραφικά δεδομένα (θέση, έκταση, κλπ), καθώς και περιγραφικά δεδομένα (τιμές pH, μηχανική σύσταση, ονοματολογία κλπ), της υπό εξέταση περιοχής, στην αντίστοιχη βάση δεδομένων του προγράμματος. Αυτά οργανώνονται, στο γραφικό περιβάλλον (graphic interface) του G.I.S. σε επίπεδα πληροφορίας (layers) και μετά από επεξεργασία παρουσιάζονται σε θεματικούς χάρτες.

Τα βήματα-στάδια, τα οποία ακολουθήθηκαν για την ολοκλήρωση της Εδαφολογικής μελέτης ήταν η συλλογή δεδομένων, η προεπεξεργασία, η διαχείριση δεδομένων, ο χειρισμός και ανάλυση των δεδομένων και η παραγωγή χαρτών, όπως φαίνεται στη συνέχεια.

2.1.1. Συλλογή δεδομένων

Τα αρχικά (πρωτογενή) δεδομένα, που χρησιμοποιήθηκαν στην μελέτη αφορούσαν τα γεωγραφικά και τα περιγραφικά δεδομένα

Τα γεωγραφικά δεδομένα προήλθαν κατά ένα μέρος από ψηφιοποίηση των χαρτών 1:5.000 της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού (ισοϋψείς, οδικό-υδρογραφικό δίκτυο, οικισμοί κλπ) και κατά ένα άλλο μέρος από μετρήσεις στην ύπαιθρο (θέσεις εδαφοτομών, εδαφικών προφίλ). Η λεπτομερής χάραξη των ορίων των εδαφικών χαρτογραφικών μονάδων της περιοχής, προσδιορίστηκε συνδυαστικά με παρατηρήσεις, που πραγματοποιήθηκαν τόσο στον αγρό όσο και με εργαστηριακές αναλύσεις. Για τον προσδιορισμό θέσεων-συντεταγμένων στην ύπαιθρο, χρησιμοποιήθηκαν συσκευές GPS.

Η περιγραφική πληροφορία συλλέχθηκε είτε στο πεδίο από Χαρτογράφους επιστήμονες, είτε μετρήθηκε από εργαστηριακές αναλύσεις, που έγιναν στο εργαστήριο του Ινστιτούτου Εδαφολογίας Θεσσαλονίκης.

2.1.2. Προεπεξεργασία

Στο στάδιο της προεπεξεργασίας η γεωγραφική και περιγραφική πληροφορία ελέγχθηκε και οργανώθηκε σε μορφές εύκολα διαχειρίσιμες και αξιοποιήσιμες από το GIS.

Η ψηφιακή γεωγραφική πληροφορία μετασχηματίστηκε από τα διαφορετικά προβολικά συστήματα (Hatt οι χάρτες τις ΓΥΣ, WGS84 οι εδαφοτομές και τα εδαφικά προφίλ), στο Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς (ΕΓΣΑ87), το οποίο και αποτελεί το βασικό σύστημα αναφοράς της χώρας μας. Στο ενιαίο χαρτογραφικό υπόβαθρο έγιναν οι απαραίτητοι έλεγχοι και διορθώσεις (έλεγχος τοπολογίας, ακρίβειας) και οργανώθηκαν τα επίπεδα πληροφορίας (επίπεδο με υδρογραφικό δίκτυο, εδαφικές μονάδες, εδαφοτομές κλπ).

Τα περιγραφικά στοιχεία συγκεντρώθηκαν και τυποποιήθηκαν σε βάση δεδομένων (Microsoft Access). Εκεί έγινε έλεγχος για χονδροειδή και τυχαία σφάλματα και ετοιμάστηκαν για την εισαγωγή τους στη βάση δεδομένων του GIS.

2.1.3. Διαχείριση δεδομένων

Τα δεδομένα, γεωγραφικά - περιγραφικά, σε αυτή την φάση συνδυάστηκαν και ενοποιήθηκαν στο περιβάλλον του λογισμικού GIS. Η γεωγραφική πληροφορία ενώθηκε (join) με την περιγραφική μέσω ενός πεδίου κλειδί, το οποίο προσδιορίζει μονοσήμαντα το κάθε στοιχείο του χάρτη (π.χ. στην εδαφοτομή ο κωδικός της). Αποδόθηκαν οι συμβολισμοί και τα χρώματα κάθε επιπέδου και έγιναν ερωτήματα (queries) για επικύρωση και έλεγχο της ορθότητας των δεδομένων.

2.1.4. Χειρισμός και ανάλυση των δεδομένων

Η ανάλυση των δεδομένων οδήγησε στη δημιουργία των επιμέρους θεματικών χαρτών. Αυτό έγινε είτε άμεσα από τα ήδη υπάρχοντα επίπεδα πληροφορίας (π.χ. μηχανική σύσταση), είτε έμμεσα, μετά από επεξεργασία (χάρτης προβληματικών εδαφών, pH κλπ).

Η επεξεργασία των αρχικών επιπέδων πληροφορίας έγινε με δύο τρόπους. Στην μία περίπτωση επιλέχθηκαν διαφορετικά επίπεδα πληροφορίας και μέσω συνδυαστικών ερωτημάτων αποδόθηκε το τελικό αποτέλεσμα. Στην άλλη περίπτωση, από γνωστές τιμές σε συγκεκριμένα σημεία, υπολογίστηκαν τιμές για τα ενδιάμεσα σημεία της περιοχής μελέτης με Γεωστατιστική (Kriging interpolation). Οι τιμές αυτές αποδόθηκαν σε κάθε ένα pixel ξεχωριστά δίνοντας την δυνατότητα απεικόνισης σε ένα πλέγμα (grid), με χρωματική

διαβάθμιση. Αυτό έγινε με την χρήση του πακέτου Spatial Analyst του Arc-View. Με αυτόν τον τρόπο παρήχθησαν οι περισσότεροι θεματικοί χάρτες της μελέτης, που παρουσιάζουν την κατανομή των κυριότερων φυσικοχημικών ιδιοτήτων του επιφανειακού εδάφους στον χώρο.

Παράλληλα μέσω ανάλυσης στο GIS έγινε εξαγωγή επιπλέον δεδομένων (δευτερογενή δεδομένα), τα οποία αξιοποιήθηκαν στην μελέτη. Από τις ισοϋψείς π.χ. υπολογίστηκαν στο GIS οι κλίσεις του εδάφους και έγινε αντιπαραβολή με την εκτίμηση της κλίσης του εδάφους, από τους χαρτογράφους, στην ύπαιθρο.

2.1.5. Παραγωγή χαρτών

Συντάχθηκε ο λεπτομερής εδαφολογικός χάρτης κλίμακας 1:20.000, που προέκυψε από τοπογραφικό υπόβαθρο κλίμακας 1: 5.000. Από το χάρτη αυτό συντάχθηκαν συνολικά 22 (είκοσι δύο) επί μέρους θεματικοί χάρτες, που αφορούσαν:

1) Μηχανική σύσταση, 2) pH, 3) ηλεκτρική αγωγιμότητα, 4) ανθρακικό ασβέστιο, 5) οργανική ουσία, 6) φώσφορο, 7) κάλιο, 8) ασβέστιο, 9) μαγνήσιο, 10) βόριο, 11) σίδηρο, 12) μαγγάνιο, 13) ψευδάργυρο, 14) χαλκό, 15) μόλυβδο, 16) κάδμιο, 17) νικέλιο, 18) χρώμιο, 19) κοβάλτιο, 20-22) διαθέσιμη υγρασία σε τρία βάθη (0-30, 0-60, 0-90 cm).

Για την σύνταξη των παραπάνω χαρτών για κάθε 10.000 στρέμματα πάρθηκαν κατά μέσο όρο δείγματα εδάφους (εδαφοτρύσεις με δειγματολήπτη) από 45 θέσεις από τρία βάθη (0-30, 30-60 και 60-90 cm), ανοίχθηκαν 2 (δύο) εδαφικά προφίλ με λήψη δειγμάτων από κάθε εδαφική στρώση και πραγματοποιήθηκαν στο εργαστήριο, για τα δείγματα αυτά εδάφους, τουλάχιστον 5.000 αναλύσεις.

2.2. Λογισμικό συμβουλευτικής λίπανσης

Η συμβουλευτική – ορθολογική λίπανση βασίζεται, κυρίως στα δεδομένα της πολυετούς έρευνας των Ελληνικών εδαφών και περιλαμβάνει τη μαθηματική περιγραφή του ισοζυγίου εισροών και εκροών των θρεπτικών στοιχείων, λαμβάνοντας υπόψη τα φυσικά, χημικά και βιολογικά χαρακτηριστικά του εδάφους. Τα δεδομένα αυτά εισάγονται σε ένα μαθηματικό μοντέλο ερμηνείας της ανάλυσης του εδάφους, με την βοήθεια ηλεκτρονικού υπολογιστή [1].

Ο υπολογισμός της δόσης για την εφαρμογή του θρεπτικού γίνεται σύμφωνα με τα αποτελέσματα της εδαφοανάλυσης και με την ταυτόχρονη συνεκτίμηση των εκροών και εισροών (νιτροποίηση, αποδέσμευση φωσφόρου από δυσδιάλυτες πηγές και απελευθέρωση καλίου από μη εναλλακτικές πηγές, απομάκρυνση των θρεπτικών λόγω συγκομιδής, έκπλυσης, απονιτροποίησης, δέσμευσης, εξαέρωσης και διάβρωσης). Με βάση τις παραπάνω παραμέτρους, δίνεται η δυνατότητα να προσαρμόζεται το επίπεδο της λίπανσης στις πραγματικές, κατά περίπτωση, ανάγκες σε θρεπτικά των καλλιεργειών. Με τη διαδικασία αυτή, οι δόσεις των θρεπτικών, που υπολογίζονται αποσκοπούν αφ’ ενός μεν στην κάλυψη των αναγκών των φυτών σε θρεπτικά, αφετέρου δε στην ικανοποίηση των παραγωγικών απαιτήσεων του εδάφους

Η αρχή της συγκεκριμένης μεθοδολογίας, βασίζεται στο ισοζύγιο μεταξύ των θρεπτικών ουσιών, που απομακρύνονται, μέσω της συγκομιδής και εκείνων, που υπάρχουν στο έδαφος, υπό διαθέσιμη μορφή, καθώς και στις διάφορες εισροές και εκροές των θρεπτικών στοιχείων στο έδαφος. Παρά το σχετικά πολύπλοκο εδαφολογικό και μαθηματικό υπόβαθρο, το οποίο εφαρμόζεται για την προσομοίωση των ισοζυγίων των θρεπτικών στο ριζόστρωμα, οι χειρισμοί από το χρήστη είναι ιδιαίτερα εύκολοι.

Περιλαμβάνει 72 καλλιέργειες και ερμηνεύει την ανάλυση του εδάφους για όλα τα μακροθρεπτικά (N, P, K, Mg) και μικροθρεπτικά στοιχεία (Zn, Fe, Cu, Mn, B), προσεγγίζει δε σε ικανοποιητικό βαθμό τις πραγματικές ανάγκες των καλλιεργειών για μέγιστη απόδοση.

2.3. Λογισμικό ορθολογικής άρδευσης

Στην περίπτωση της συγκεκριμένης μελέτης οι τιμές διαθέσιμης υγρασίας για τα σημεία, στα οποία έγιναν εδαφοτομές, προέκυψαν από τη χρήση του υπολογιστικού μοντέλου των [2]. Το μοντέλο αυτό αποτελεί βελτίωση της έκδοσης των [3] και δημιουργήθηκε με βάση δεδομένα του Αμερικανικού Υπουργείου Γεωργίας από 2.000 δείγματα Α οριζόντων και 2.000 δείγματα Β-C οριζόντων εδάφους. Οι παράμετροι, που λαμβάνει το συγκεκριμένο πρόγραμμα ως δεδομένα εισόδου είναι τα ποσοστά αργίλου και άμμου, η επί τοις εκατό περιεκτικότητα σε οργανική ουσία, το ποσοστό χαλικιών, ο βαθμός συμπίεσης και η ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους. Από τα στοιχεία αυτά προκύπτουν προβλεπόμενες τιμές για τις εξής παραμέτρους:

- Σημείο Μόνιμης Μάρανσης
- Υδατοϊκανότητα
- Φαινόμενο Ειδικό Βάρος
- Κορεσμένη Υδραυλική Αγωγιμότητα (ή Βασική Διηθητικότητα)
- Διαθέσιμη Υγρασία ανά βάθος
- Υγρασία % σε διάφορες τάσεις

Το λογισμικό παίρνει τα στοιχεία που αφορούν τη Διαθέσιμη Υγρασία και τη Βασική Διηθητικότητα για κάθε σημείο, μέσα από τη βάση δεδομένων του Γεωγραφικού Συστήματος Πληροφοριών και των αντίστοιχων θεματικών χαρτών. Ένα ξεχωριστό αρχείο παρέχει τα δεδομένα, που αφορούν την εξατμισοδιαπνοή αναφοράς της περιοχής με τη μέθοδο FAO Penman –Monteith [4], τους φυτικούς συντελεστές, που αντιστοιχούν στις διάφορες καλλιέργειες της περιοχής [5] και τις σχέσεις – συναρτήσεις, που διέπουν την άρδευση των καλλιεργειών [6, 7]. Τέλος αυτό που διαφοροποιείται για κάθε μέθοδο άρδευσης (σταγόνες, καρούλι, ράμπα, μικροεκτοξευτήρες, καταιονισμό, λωρίδες) είναι τα δεδομένα, που εισάγει ο χρήστης (δεδομένα εισόδου) και τα αποτελέσματα – συμβουλές, που δίνει το πρόγραμμα (δεδομένα εξόδου).

2.4. Σχεδιασμός προγράμματος

Για τη δημιουργία του προγράμματος συμβουλευτικής λίπανσης και άρδευσης χρησιμοποιήθηκαν τα εξής εργαλεία:

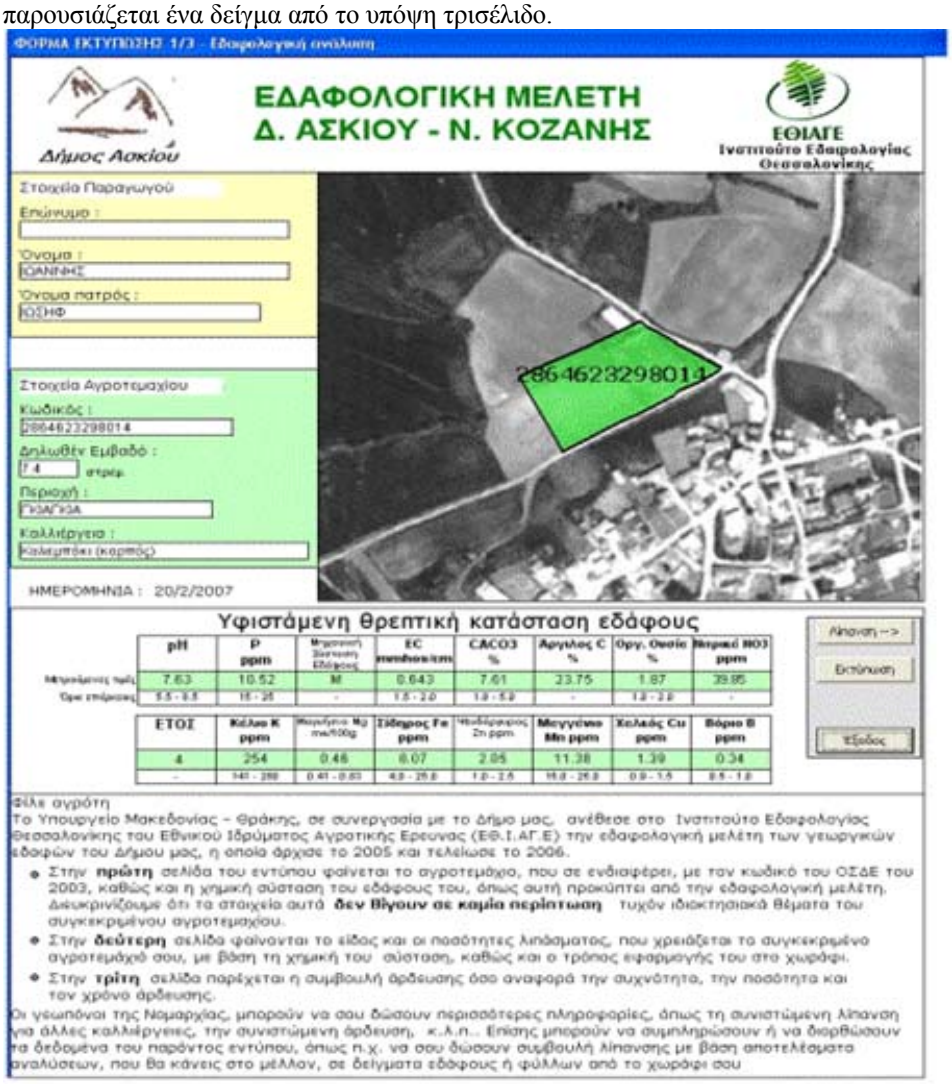
- Map Objects της ESRI
- Γλώσσα προγραμματισμού Microsoft Visual Basic 6
- Εφαρμογή (module) σε Visual Basic for Applications, για τη συνιστώμενη λίπανση και άρδευση

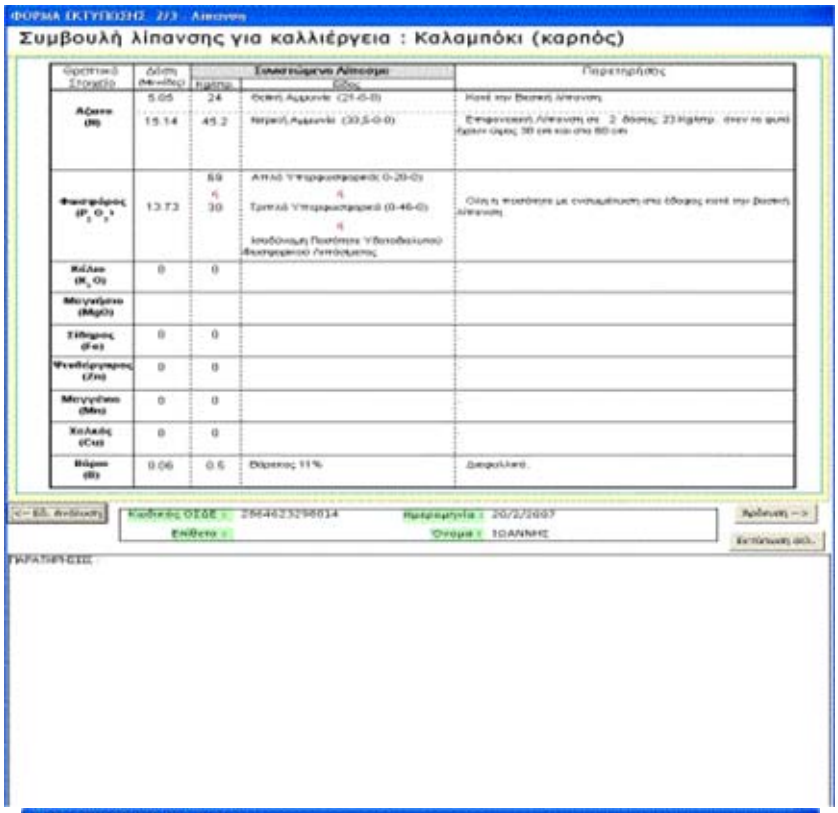
Στο πρόγραμμα εισήχθησαν στη συνέχεια πληροφορίες, όπως ορθοφωτοχάρτες κλίμακας 1:5.000, οι φυσικοχημικές ιδιότητες του εδάφους, όπως αυτές προέκυψαν από τη εδαφολογική μελέτη, καθώς και δεδομένα αγροτεμαχίων, καλλιεργειών και παραγωγών από το Ολοκληρωμένο Σύστημα Διαχείρισης Επιδοτήσεων (ΟΣΔΕ) του 2003. Τα τελευταία δεδομένα και ιδιαίτερα οι χάρτες όλων των αγροτεμαχίων της περιοχής μετατράπηκαν από έντυπη σε ψηφιακή μορφή, δίνοντας τη δυνατότητα στο λογισμικό να εντοπίζει για κάθε αγρότη το αγροτεμάχιο, που τον ενδιαφέρει και να του παρέχει συμβουλές λίπανσης και άρδευσης, ανάλογα με την θρεπτική κατάσταση του εδάφους και την καλλιέργεια.

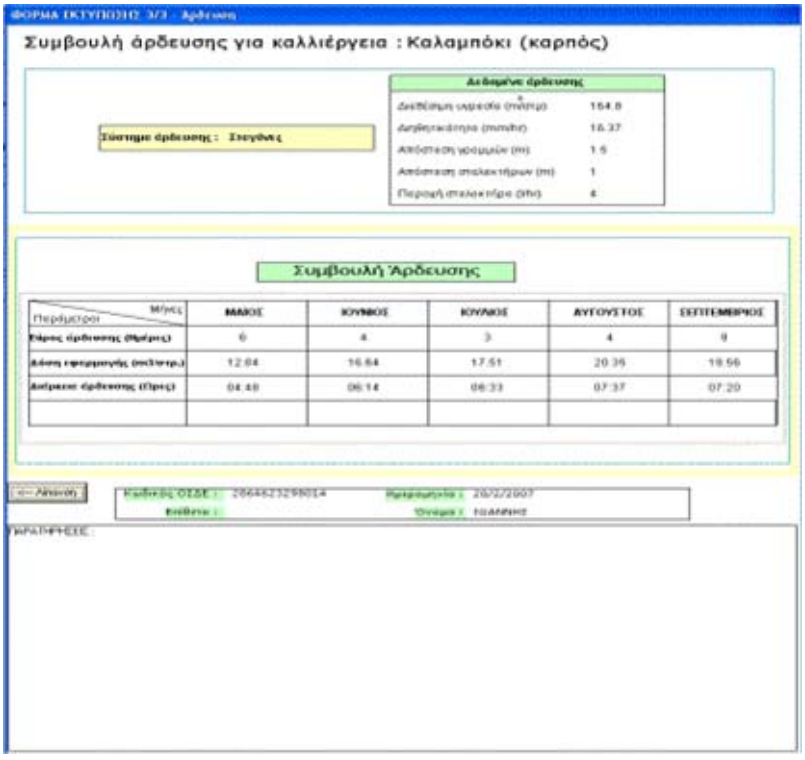
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Ο χρήστης του παραπάνω λογισμικού της μελέτης μπορεί με εύκολο τρόπο να εντοπίσει ένα αγροτεμάχιο είτε με βάση το επίθετο του παραγωγού είτε με βάση τον 13ψήφιο κωδικό του ΟΣΔΕ , είτε οπτικά από την αεροφωτογραφία της περιοχής.

Στη συνέχεια, με το πάτημα ενός πλήκτρου, μπορεί να έχει στη διάθεσή του και να εκτυπώσει ένα τρισέλιδο. Στην πρώτη σελίδα του εμφανίζεται η αεροφωτογραφία του αγροτεμαχίου με τις πληροφορίες του ΟΣΔΕ (κωδικό, στοιχεία παραγωγού κ.λ.π) και τα αποτελέσματα της φυσικοχημικής ανάλυσης του εδάφους του, όπως αυτά προέκυψαν από την εδαφολογική μελέτη. Στην δεύτερη σελίδα εμφανίζεται η προτεινόμενη ορθολογική λίπανση της καλλιέργειας, που επιθυμεί ο παραγωγός για το συγκεκριμένο αγροτεμάχιο, ενώ στην τρίτη σελίδα εμφανίζεται η προτεινόμενη άρδευση του αγροτεμαχίου (εύρος άρδευσης, δόση εφαρμογής, διάρκεια άρδευσης). Στη συνέχεια παρουσιάζεται ένα δείγμα από το υπόψη τρισέλιδο.




Συμβουλή λίπανσης για καλλιέργεια : Καλαμπόκι (καρπός)


Συμβουλή άρδευσης για καλλιέργεια : Καλαμπόκι (καρπός)
Συμβουλή Άρδευσης

Ήδη οι γεωπόνοι των παραπάνω Δήμων, με άμεση επικοινωνία με τους αγρότες τους, εφαρμόζουν με επιτυχία στην πράξη τη δυνατότητα αυτή των σύγχρονων εδαφολογικών μελετών των περιοχών τους.

Η αντιμετώπιση του προβλήματος επικαιροποίησης των υπόψη εδαφολογικών μελετών, θα μπορεί μελλοντικά να επιτευχθεί με τους εξής τρόπους:

- Δυνατότητα να ενημερώνεται on line η βάση δεδομένων με νέα δεδομένα από αποτελέσματα νέων (πέρα της αρχικής μελέτης) εδαφοαναλύσεων, που θα διενεργούν είτε οι μεμονωμένοι αγρότες είτε οι φορείς τους (συνεταιρισμοί, τοπική αυτοδιοίκηση κ.λ.π).
- Δυνατότητα εύκολης αλλαγής των ορίων των αγροτεμαχίων της αρχικής βάσης δεδομένων του ΟΣΔΕ**,** με βάση νέα όρια, που θα προκύπτουν στο μέλλον, λόγω αλλαγής στο ιδιοκτησιακό καθεστώς, κ.λ.π..
- Δυνατότητα έκδοσης επικαιροποιημένων θεματικών χαρτών και αντίστοιχων οδηγιών ορθολογικής λίπανσης ανά χρονικά διαστήματα 4-5 ετών, που θα βασίζονται στα παραπάνω νέα στοιχεία της βάσης δεδομένων.

Οι παραπάνω δυνατότητες του τελικού λογισμικού, που είναι ακόμη σε επίπεδο μελέτης και σχετικών δοκιμών από το Ινστιτούτο Εδαφολογίας Θεσσαλονίκης , θα έχουν σαν αποτέλεσμα την εξέλιξη των εδαφολογικών μελετών σε ένα δυναμικό εργαλείο, που θα παρακολουθεί συνεχώς τα νέα δεδομένα των εδαφοαναλύσεων, που θα γίνονται μετά το συμβατικό χρόνο λήξης της αρχικής μελέτης. Μελλοντική επιδίωξη είναι η δημιουργία μιας διαδικτυακής πλατφόρμας αποθήκευσης, διαχείρισης και αξιοποίησης δεδομένων που σχετίζονται με τον αγροτικό τομέα και θα καλύπτει όλο το φάσμα των διαφορετικών παραμέτρων που αφορούν τα αγροτεμάχια (έδαφος, λίπανση, άρδευση, παθογένεια κλπ), τις καλλιέργειες (είδος, ποσότητα, κλπ) και τους ίδιους τους παραγωγούς.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Κουκουλάκης Π.Χ., Παπαδόπουλος Α.Η., 2001. *Η Ερμηνεία της Ανάλυσης του Εδάφους*. Εκδόσεις Σταμούλη Α.Ε., Αθήνα 2001.
2. Saxton K.E., Rawls W.J., 2004. Soil water characteristic estimates by texture and organic matter for hydrologic solutions. *Soil Science Society of America. Annual Conference Seattle*, WA, Oct. 30 – Nov. 4 2004.
3. Saxton K.E., Rawls W.J., Romberger J.S., Papendick R.I., 1986. Estimating generalized soil water characteristics from texture. *Trans. Am. Soc. Agri. Eng*. 50(4): 1031-1035
4. Γεωργίου Π., Παπαμιχαήλ Δ. και Παπαζαφειρίου Ζ., 2000. Συγκριτική αξιολόγηση των μεθόδων Penman και Penman-Monteith με τη βοήθεια εκτιμήσεων εξατμισοδιαπνοής αναφοράς στην Ελλάδα. *Πρακτικά 5ου Πανελλήνιου συνεδρίου Μετεωρολογίας –Κλιματολογίας – Φυσικής της Ατμόσφαιρας*, Θεσαλονίκη 2000
5. Παπαμιχαήλ Δ., Γεωργίου Π., 2004. Εκτίμηση εξατμισοδιαπνοής αναφοράς και φυτικών συντελεστών για την περιοχή της Κοζάνης. Εργαστήριο Γενικής & Γεωργικής Υδραυλικής και Βελτιώσεων, Γεωπονική Σχολή, Α.Π.Θ, (προφορική επικοινωνία)
6. Παπαζαφειρίου Ζ., Παπαμιχαήλ Δ., 1996. Συστήματα Αρδεύσεων. *Υπηρεσία Δημοσιευμάτων Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης*.
7. Παπαζαφειρίου Ζ., Τερζίδης Γ., 1997. *Γεωργική Υδραυλική*. Εκδόσεις Ζήτη.

(117)

ΧΩΡΟ-ΧΡΟΝΙΚΗ ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΕΠΙΠΕΔΩΝ Cd ΚΑΙ Cr ΣΕ ΓΕΩΡΓΙΚΑ ΕΔΑΦΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΑΛΜΥΡΟΥ ΜΑΓΝΗΣΙΑΣ

Ε. Ε. Γκόλια , Α. Δημήρκου, Στ. Α. Φλωράς, Κ. Παπαδήμας, Γ. Σκαμαγκούλης και Ι. Κ. Μήτσιος†

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Σχολή Γεωπονικών Επιστ., Τμ. Γεωπονίας Φ. Π. & Α. Π., Οδός Φυτόκου, 38446, Ν. Ιωνία Μαγνησίας, egol@uth.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σε γεωργικά εδάφη της περιοχής Αλμυρού του Ν. Μαγνησίας πραγματοποιήθηκε έρευνα με σκοπό την καταγραφή και την παρακολούθηση κατά τη διάρκεια του έτους της ολικής και διαθέσιμης συγκέντρωσης του καδμίου και του χρωμίου. Οι ολικές συγκεντρώσεις των στοιχείων αυτών ήταν ιδιαίτερα υψηλές λόγω της χρήσης φωσφορικών λιπασμάτων, αλλά και λόγω των υψηλών ποσοστών ρύπων από τις βιομηχανικές μονάδες της περιοχής. Για κάθε ένα από τα παραπάνω στοιχεία δημιουργήθηκαν θεματικοί χάρτες με χρήση των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (ArcGIS v.9.1). Χρησιμοποιήθηκαν γεωστατιστικά μοντέλα απεικόνισης της ρύπανσης καθώς και της χωρο-χρονικής μεταβολής των ρύπων. Οι θεματικοί χάρτες αναμένεται να αποτελέσουν ένα πολύτιμο εργαλείο, το οποίο συνεχώς μπορεί να ανανεώνεται και να δίνει πληροφορίες για το βαθμό ρύπανσης της περιοχή μελέτης.

SEASONAL AND SPATIAL VARIABILITY OF Cd AND Cr IN AGRICULTURAL SOILS OF ALMYROS AREA

E. E. Golia , A. Dimirkou, St. A. Floras, K. Papadimas, G. Skamagkoulis and I.K. Mitsios†

[1] University of ThessalyFytokou Str, 38446, N. Ionia Magnesias, , egol@uth.gr

ABSTRACT

Soil samples were monitored in October 2005, March and September 2006, at the same sampling sites, in an intensively cultivated area in Central Greece. Cadmium and Chromium concentration (total and DTPA extractable) was high in the sites where phosphate fertilizers had been intensively used for the crops and also where industrial activities were rather high. Thematic maps were constructed by using the (ArcGIS v.9.1), while the extension Geostatistical Analyst was used for the geostatistical analysis of the data. The thematic maps are expected to constitute an important tool for further research, because they give the opportunity of continuing renewal of database and verification or even correction of estimation of environmental contamination.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ρύπανση των εδαφών από βαρέα μέταλλα, είναι τις τελευταίες δεκαετίες στο κέντρο του επιστημονικού ενδιαφέροντος [1, 2]. Μεγάλες ποσότητες μετάλλων προστίθενται στα εδάφη τόσο από ανθρωπογενείς δραστηριότητες, όσο και από ενδογενείς παράγοντες, όπως για παράδειγμα είναι η γεωχημική προέλευση αυτών. Σε γεωργικά εδάφη η εκτεταμένη χρήση φωσφορικών και υπερφωσφορικών λιπασμάτων είναι η κύρια παράμετρος η οποία καθορίζει τις ποσότητες του καδμίου που εισέρχονται στα εδάφη, καθώς είναι γνωστό ότι οι πρώτες ύλες οι οποίες χρησιμοποιούνται για την παρασκευή των λιπασμάτων περιέχουν κάδμιο ως πρόσμιξη [3, 4].

Παράλληλα στην περιοχή μελέτης (περιοχή Αλμυρού νομού Μαγνησίας) τα τελευταία χρόνια, παρατηρήθηκε μια έντονη βιομηχανική δραστηριότητα από εργοστάσιο επεξεργασίας σιδηροκραμάτων [5]. Δειγματοληπτικοί έλεγχοι στην περιοχή οδήγησαν σε ανησυχητικά αποτελέσματα καθώς οι συγκεντρώσεις καδμίου και χρωμίου σε πολλές περιπτώσεις ήταν υψηλότερες από τις συνήθεις για την περιοχή της Θεσσαλίας [6]. Η παρούσα μελέτη έγινε με σκοπό να γίνει διερεύνηση των επιπέδων καδμίου και χρωμίου στην περιοχή του Αλμυρού και να βρεθούν οι χρονικές αλλά και χωρικές διακυμάνσεις των επιπέδων των μετάλλων αυτών. Για την απεικόνιση της ρύπανσης στην περιοχή κατασκευάστηκαν θεματικού χάρτες με χρήση των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών, οι οποίοι έχουν τη δυνατότητα να ανανεώνονται συνεχώς και να παρέχουν πληροφορίες πρόβλεψης των επιπέδων (ολικών και διαθεσίμων) των μεταλλικών στοιχείων.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Η περιοχή μελέτης είναι η περιοχή του Αλμυρού του νομού Μηγνησίας. Περιλαμβάνει μια έκταση 13400 στρεμμάτων και περιέχει την περιοχή της πόλης του Αλμυρού, της Ευξεινούπολης και της Σούρπης. Κατά τον Οκτώβριο του 2005, το Μάρτιο του 2006 και το Σεπτέμβριο του 2006 συνελέγησαν 251 επιφανειακά (0-30) δείγματα εδάφους. Τα εδαφικά δείγματα αεροξηράνθηκαν, λειοτριβήθηκαν και διήλθαν από κόσκινο (2mm). Ακολούθησαν οι εξής εδαφολογικές αναλύσεις [7]: προσδιορισμός του pH σε αιώρημα εδάφους-νερού με αναλογία 1:1, προσδιορισμός της μηχανικής σύστασης με τη μέθοδο του Βουγιούκου και της οργανικής ουσίας με την τροποποιημένη μέθοδο των Walkey-Black.

Για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης των μετάλλων που είναι διαθέσιμα στο έδαφος χρησιμοποιήθηκε εκχυλιστικό διάλυμα DTPA [8], ενώ για τον προσδιορισμό της ολικής συγκέντρωσης αυτών πραγματοποιήθηκε εκχύλιση με Aqua Regia μετά από πέψη για 16h μέσα σε ειδική συσκευή του Οίκου Gerhard [9]. Ο ποσοτικός προσδιορισμός των μετάλλων έγινε στο εκχύλισμα με τη βοήθεια φασματοφωτομέτρου Ατομικής Απορρόφησης Perkin Elmer 3300 [10, 11]. Για τον έλεγχο της ανάκτησης των αναλυτικών μεθόδων χρησιμοποιήθηκε συνθετικό έδαφος BCR (Community Bureau of Reference) (CRM 141R,calcareous loam soil).

Για την κατασκευή των θεματικών χαρτών χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό ArcGIS v.9.1 καθώς και οι προεκτάσεις αυτού ArcTools και ArcMap. Ως υπόβαθρο χρησιμοποιήθηκαν τοπογραφικά φύλλα (1:5.000) της ΓΥΣ, τα οποία ψηφιοποιήθηκαν με χρήση του ARC/INFO (v.9). Όλα τα δεδομένα των αναλύσεων μεταφέρθηκαν στη βάση δεδομένων που κατασκευάστηκε και που ήταν συνδεδεμένη με το χάρτη αναφοράς. Κατόπιν κατασκευάστηκαν θεματικοί χάρτες με χρήση της γεωστατιστικής μεθόδου Ordinary Kriging [6, 12]. Για την εύρεση στατιστικά σημαντικής ή όχι διαφοράς μεταξύ των τιμών των συγκεντρώσεων των μετάλλων μεταξύ των ετών, χρησιμοποιήθηκε το *κριτήριο Student* (Student *t*-test). Οι συγκρίσεις αφορούσαν κάθε

φορά δύο ανεξάρτητα πακέτα δεδομένων *(Comparison of Two Independent Sets of Data)* ή γίνονταν συγκρίσεις ζευγών *(Paired Comparisons*). Για την εύρεση σχέσης μεταξύ των τιμών δύο ή περισσότερων παραμέτρων στα εδαφικά δείγματα, χρησιμοποιήθηκε η *ευθύγραμμη συμμεταβολή (Linear Regression),* καθώς και η *συσχέτιση (Correlation)* σε επίπεδο σημαντικότητας 0,01 και 0,05.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Στον *Πίνακα 1* παρουσιάζονται οι φυσικοχημικές ιδιότητες των εδαφικών δειγμάτων.

Πίνακας 1. Φυσικοχημικές ιδιότητες των εδαφικών δειγμάτων

	pH (1:1)	**Ηλεκτρική αγωγιμότητα (μS cm^{-1})**	**Οργανική Ουσία (%)**	**Άργιλος (%)**
Ελάχιστη τιμή	5,0	123	0,9	13
Μέγιστη τιμή	8,4	3300	5	44
Μέση τιμή	6,3	1560	2,4	22
CV %	17	54	32	18

Στον *Πίνακα 2* παρουσιάζονται οι συγκεντρώσεις του καδμίου και του χρωμίου. Τα σύμβολα τα οποία χρησιμοποιούνται εξηγούνται ως εξής: Με (D) συμβολίζεται η διαθέσιμη συγκέντρωση του μετάλλου, με (A) η διαθέσιμη συγκέντρωση του μετάλλου κατά τους φθινοπωρινούς μήνες (μέσος όρος των δύο ετών), με (B) η διαθέσιμη συγκέντρωση του μετάλλου κατά το μήνα Μάρτιο και με AqRe συμβολίζεται η ολική συγκέντρωση του μετάλλου (μέσος όρος των δύο ετών).

Πίνακας 2. Συγκεντρώσεις καδμίου και χρωμίου

	Cd $_{D(A)}$	**Cd $_{D(B)}$**	**Cd$_{AqRe}$**	**Cr $_{D(A)}$**	**Cr $_{D(B)}$**	**Cr$_{AqRe}$**
	mg μετάλλου /kg ξηρού εδάφους					
Ελάχιστη τιμή	0,12	0,1	1	5,1	2,2	5,4
Μέγιστη τιμή	4,8	2,7	12	14,2	7,9	25,8
Μέση τιμή	2,2	1,1	3,3	10,9	4,3	12,3
CV %	19	15	24	17	19	25

Από τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται είναι φανερό ότι κατά τους φθινοπωρινούς μήνες και στα δύο έτη της έρευνας, οι διαθέσιμες συγκεντρώσεις τόσο του καδμίου, όσο και του χρωμίου ήταν υψηλότερες σε σχέση με τις αντίστοιχες συγκεντρώσεις κατά το μήνα Μάρτιο. Το φαινόμενο αυτό πιθανώς να οφείλεται στο γεγονός ότι κατά τη διάρκεια του Καλοκαιριού, λόγω της έλλειψης νερού, να επήλθε μια συμπύκνωση της συγκέντρωσης των μετάλλων η οποία δεν παρουσιάστηκε κατά το μήνα Μάρτιο, λόγω αραίωσης των ρύπων από το νερό της βροχής κατά τους χειμερινούς μήνες. Αντίθετα οι ολικές συγκεντρώσεις των μετάλλων δεν παρουσίασαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των διαφορετικών περιόδων δειγματοληψίας, δηλαδή ουσιαστικά για τις ολικές συγκεντρώσεις των μετάλλων δεν παρατηρήθηκαν χρονικές διακυμάνσεις. Οι συγκεντρώσεις του καδμίου σε πολλά δείγματα ήταν μεγαλύτερες από τη μέγιστη επιτρεπτή τιμή των 3 mgCd kg^{-1}ξηρού εδάφους (ΦΕΚ 641/07.08.1991) που έχει θεσπιστεί για pH εδάφους 6 έως 7.

Στον *Πίνακα 3* παρουσιάζονται οι συντελεστές συσχέτισης μεταξύ των συγκεντρώσεων των μετάλλων και των φυσικοχημικών παραμέτρων του εδάφους.

Πίνακας 3. Συντελεστές συσχέτισης μεταξύ των συγκεντρώσεων του καδμίου και του χρωμίου και των φυσικοχημικών ιδιοτήτων των εδαφικών δειγμάτων.

	pH	**EC**	**Οργανική ουσία**	**Άργιλος**
$Cd_{D(A)}$	-0.678**	0,345	ΜΣ	0,245
$Cd_{D(B)}$	-0.555*	0,456	0,023*	0,246
Cd_{AqRe}	-0.436	0,483*	ΜΣ	0,555*
$Cr_{D(A)}$	-0.567*	0,342	ΜΣ	0,252
$Cr_{D(B)}$	-0.443*	0,255	ΜΣ	0,335
Cr_{AqRe}	-0.378	0,344*	ΜΣ	0,544*

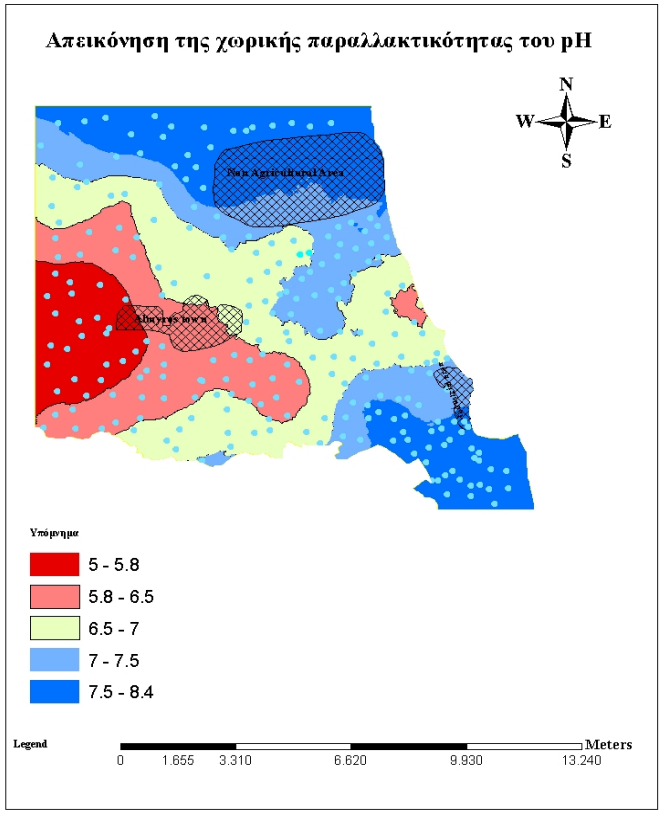
ΜΣ: Μη Σημαντική συσχέτιση. Οι τιμές που ακολουθούνται από * είναι σημαντικές σε επίπεδο 0,01. Οι τιμές που ακολουθούνται από ** είναι σημαντικές σε επίπεδο 0,05

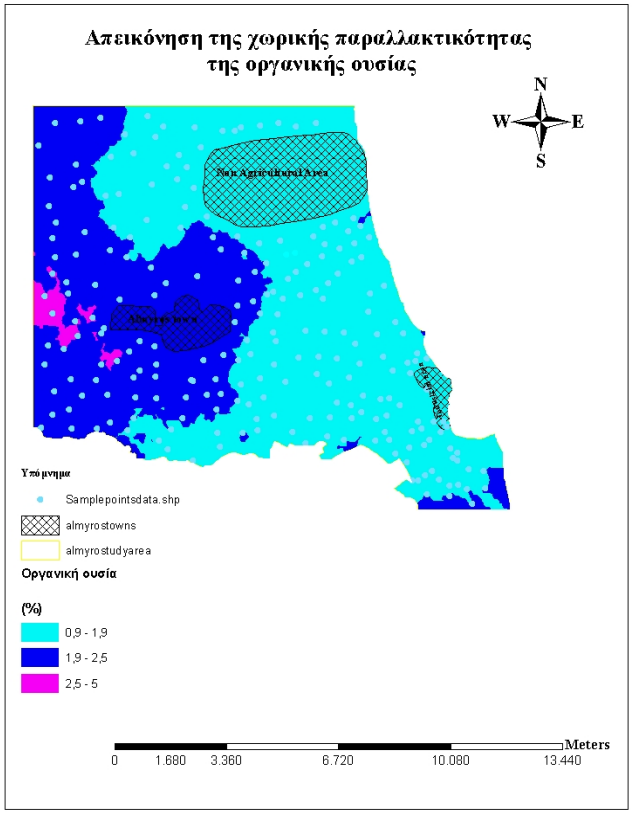
Από τον παραπάνω πίνακα προκύπτει ότι μεταξύ των διαθέσιμων συγκεντρώσεων και των δύο στοιχείων και της τιμής του pH του εδάφους υπάρχει αρνητική συσχέτιση, δηλ. μείωση της τιμής του pH οδηγεί σε αύξηση της διαθεσιμότητας των μετάλλων. Η ολική συγκέντρωση των μετάλλων παρουσιάζεται να επηρεάζεται από την ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους και από την περιεκτικότητα του εδάφους σε άργιλο. Αυτό είναι γενικά αποδεκτό και από άλλους ερευνητές [1, 3]. Στο *χάρτη 1* που ακολουθεί παρουσιάζεται η χωρική παραλλακτικότητα της τιμής του pH στην περιοχή μελέτης. Όξινα εδάφη παρουσιάζονται στη δυτική πλευρά, κοντά στην περιοχή της Ευξεινούπολης, όπου τα εδάφη έχουν μια μικρή κλίση και είναι ελαφρώς διαβρωμένα.

Μεγαλύτερες τιμές pH παρουσιάζονται προς τη βόρεια και ανατολική πλευρά του χάρτη, κυρίως σε εδάφη τα οποία είναι κοντά στη θάλασσα. Στα εδάφη η περιεκτικότητα σε ασβεστόλιθο είναι σημαντική. Παράλληλα οι συγκέντρωση το ανταλλάξιμου και διαλυτού νατρίου είναι αυξημένη. Από τον υπολογισμό των τιμών του δείκτη ESP και SAR των εδαφών αυτών, προκύπτει τι υπάρχει σημαντικός κίνδυνος νατρίωσης και υποβάθμισης στην περιοχή και επομένως πρέπει να υπάρξει μια ορθολογική χρήση των λιπασμάτων [5].

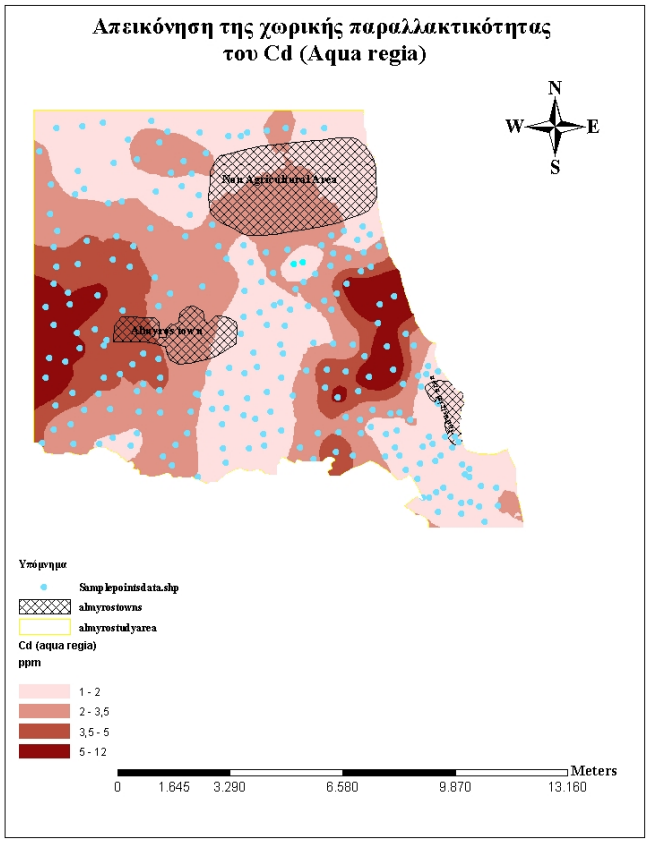
Στο *χάρτη 2* παρουσιάζεται η χωρική παραλλακτικότητα του ποσοστού της οργανικής ουσίας. Σε όλη την περιοχή μελέτης η περιεκτικότητα σε οργανική ουσία είναι χαμηλή, με εξαίρεση μικρή περιοχή στη δυτική πλευρά όπου υπήρξαν μεμονωμένες προσθήκες οργανικής ουσίας σε καλλιέργειες οπωροκηπευτικών [5].

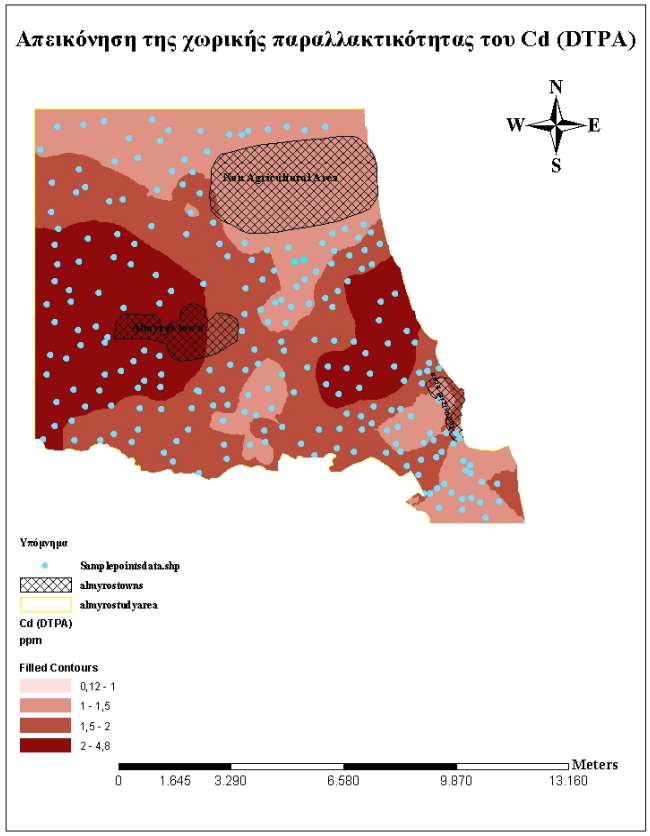
Στους *χάρτες 3* και *5* παρουσιάζονται η χωρική παραλλακτικότητα της διαθέσιμη συγκέντρωση του καδμίου και του χρωμίου, αντίστοιχα. Η διαθέσιμη συγκέντρωση αναφέρεται στους φθινοπωρινούς μήνες (μέσος όρος των δύο ετών), καθώς στους μήνες αυτούς έχουμε στις μέγιστες συγκεντρώσεις. Στους *χάρτες 4* και *6* παρουσιάζεται η χωρική παραλλακτικότητα της ολικής συγκέντρωσης του καδμίου και του χρωμίου, αντίστοιχα. Οι διαθέσιμες συγκεντρώσεις τόσο του καδμίου, όσο και του χρωμίου παρουσίασαν αύξηση σε περιοχές όπου η τιμή του pH των εδαφών είναι χαμηλή. Είναι γνωστό ότι το εδαφικό pH είναι η βασικότερη παράμετρος που καθορίζει τη διαθεσιμότητα των μεταλλικών στοιχείων προς τα φυτά [1,2]. Παρατηρώντας τους *χάρτες 3* έως και *6* είναι φανερό ότι υπάρχει μια θετική συσχέτιση μεταξύ διαθέσιμης και ολικής συγκέντρωσης για κάθε μέταλλο, καθώς στις ίδιες περίπου περιοχές παρατηρούνται υψηλές διαθέσιμες και ολικές συγκεντρώσεις Cd και Cr [12].



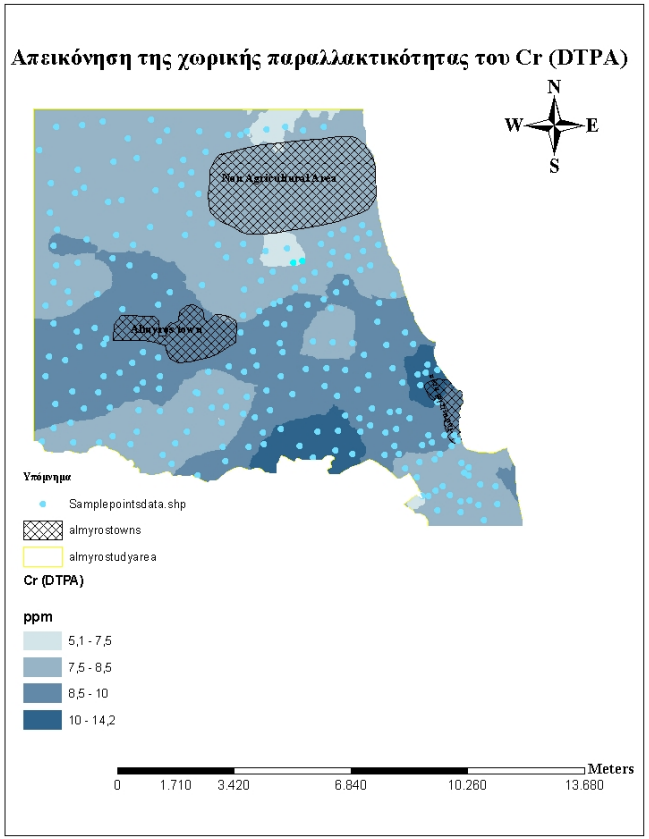


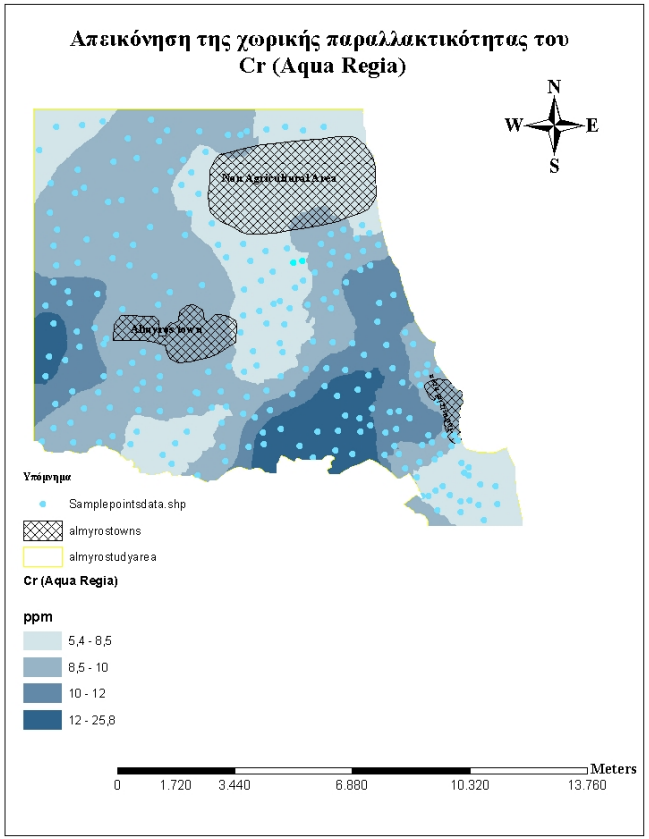
Χάρτης 1: Χάρτης πρόβλεψης pH Χάρτης 2: Χάρτης πρόβλεψης οργανικής ουσίας





Χάρτης 4: Χάρτης πρόβλεψης Cd (Aqua regia) Χάρτης 3: Χάρτης πρόβλεψης Cd (DTPA)





Χάρτης 5 :Χάρτης πρόβλεψης Cr (DTPA) Χάρτης 6: Χάρτης πρόβλεψης Cr (Aqua regia)

Υψηλές τιμές διαθέσιμης και ολικής συγκέντρωσης καδμίου παρατηρήθηκαν και στην ανατολική πλευρά της περιοχής μελέτης, όπου γίνεται εντατικά χρήση υπερφωσφορικών λιπασμάτων σε καλλιέργειες κυρίως καπνού της περιοχής [5]. Η ολική συγκέντρωση του χρωμίου είναι ιδιαίτερα υψηλή στη νότια περιοχή της μελέτης, πολύ κοντά σε εργοστάσιο επεξεργασίας σιδηροκραμάτων. Επειδή οι τιμές του ολικού χρωμίου είναι ιδιαίτερα υψηλές είναι αναγκαίο να γίνονται συχνά μετρήσεις, τόσο σε εδαφικά δείγματα όσο και σε δείγματα νερού, αλλά και εδώδιμων προϊόντων, έτσι ώστε οι κάτοικοι της περιοχής να είναι ενήμεροι για τους κινδύνους που ενδεχομένως να τους απειλούν.

Οι θεματικοί χάρτες, με τη δυνατότητα συνεχούς ανανέωσης και βελτίωσης της πρόβλεψης, αναμένεται να αποτελέσουν ένα σημαντικό βοήθημα για το βαθμό ρύπανσης της περιοχής μελέτης.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Adriano, D. C., 1986. *Trace Elements in the Terrestial Environment*, Springer-Verlag, New York, 199 p.
2. Abollini, O., Aceto, M., Malandrino, M., Mentasti, E., Sarzanini, C. and F. Petrella 2002. Heavy Metals in Agricultural Soils from Piedmont, Italy. Distribution, Speciation and Chemo metric data Treatment. *Chemosphere,* 545-557.
3. Kabata-Pendias, A. and Pendias, H., 1992. *Trace Elements in Soils and Plants*. 2nd Edition, CRC Press, London, 754p.
4. Miner, G.S., Gutierrez, R. and King, L.D. 1997. Soil Factors Affecting Plant Concentrations of Cadmium, Copper, and Zinc on Sludge-Amended Soils. *J. Environ. Qual.* (26): 989-994.
5. Malkakis, K.G., Golia, E.E. Stamatopoulou, I.G., Floras, S.A. and Mitsios, I.K. 2006. Study of spatial variability of available phosphorus (Olsen), boron, nitrates and nitrites in Almyros region (central Greece), using geostatistics. *Proc. of Int. Confer. On: Information Systems in Sustainable Agriculture, Agro environment and Food Technology. Volos, 22-25 September.*
6. Mitsios, I.K., Golia, E.E. and Floras S.A., 2003.Gis-based monitoring heavy metals content in soils of Thessaly area, (central Greece). *Proc. of Int. Congr. For Geographical Information Systems and Remote Sensing: Environmental Applications*, Volos, Creece-7-9 November 2003.
7. Page, A.L., Miller, H.R. and Keeney, R.D. 1982. *Methods of Soil Analysis* Part II-Chemical and Microb. Prop. Second Ed. American Society of Agronomy, Inc. Soil Science of America,.Inc. Madison, Wisconsin USA. 577p.
8. Lindsay, W.L. and Norvell, W.A. 1978. Development of a DTPA test for Zinc, Iron, Manganese and Copper. *Soil Sci. Soc. Am. J.* (42), 421-428.
9. ISO Standards Compendium, 1994. *Environment Soil Quality*. Switzerland. (ISO/DIS 11466), p. 111-124.
10. Van Der Lee, J. J., Temminghoff, E., Houba.,V. J. G.,and Novozamsky, 1987 . Background Corrections in the Determination of Cd and Pb by Flame AAS in Plant and Soil Samples with High Fe Levels. *Appl-Spectrosc.* 41(3), 388-390.
11. Welz, B. 1985. Atomic Abs. Spectrometry. Verlag Chemie. Weinheim, 210p.
12. Golia, E.E. and Mitsios, I.K. 2004. Spatial variability of available and total concentration of As and Zn in agricultural soils of Elassona region. *Proc. of 10th National Symposium of Soil Science*, Athens, Greece-September 2004.

(118)

ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΕΠΙΠΕΔΩΝ ΜΑΚΡΟ- ΚΑΙ ΜΙΚΡΟ-ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΣΕ ΕΔΑΦΗ ΚΑΙ ΝΕΡΑ ΑΡΔΕΥΣΗΣ ΤΟΥ ΑΛΜΥΡΟΥ, ΝΟΜΟΥ ΜΑΓΝΗΣΙΑΣ.

Α. Δημήρκου, Ε. Ε. Γκόλια , Στ. Α. Φλωράς, Χ. Ηλιόπουλος, Γ. Σκαμαγκούλης και Ι. Κ. Μήτσιος†

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Σχολή Γεωπονικών Επιστ., Τμ. Γεωπονίας Φ. Π. & Α. Π., Οδός Φυτόκου, 38446, Ν. Ιωνία Μαγνησίας, egol@uth.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Από την περιοχή Αλμυρού του Ν. Μαγνησίας κατά τα έτη 2004 έως 2006 συγκεντρώθηκαν επιφανειακά (0-30cm) εδαφικά δείγματα, καθώς και δείγματα νερού άρδευσης από γεωτρήσεις τις περιοχής. Τόσο στα εδαφικά δείγματα όσο και στα δείγματα του νερού άρδευσης προσδιορίστηκαν οι συγκεντρώσεις των ιόντων Na^+, K^+, Ca^{++}, Mg^{++}, Cl^-, $SO_4^=$ καθώς και τα ιχνοστοιχεία B, Cu και Zn. Στα νερά άρδευσης επιπλέον προσδιορίστηκε η τιμή του SAR Ποσοστό ίσο με 6% των δειγμάτων του νερού άρδευσης θεωρούνται ακατάλληλα καθώς εγκυμονούν κινδύνους νατρίωσης των καλλιεργούμενων εδαφών. Οι συγκεντρώσεις του χαλκού και ψευδαργύρου, αλλά και του βορίου, παρουσιάζουν τιμές της ίδιας τάξης μεγέθους με τιμές που παρουσιάστηκαν σε άλλες καλλιεργούμενες περιοχές της Θεσσαλίας

LEVELS OF NUTRIENTS IN AGRICULTURAL SOILS AND IRRIGATION WATER OF ALMYROS AREA

A. Dimirkou, E. E. Golia , St. A. Floras, Cr. Iliopoulos, G. Skamagkoulis and I.K. Mitsios†

[1] University of ThessalyFytokou Str, 38446, N. Ionia Magnesias, egol@uth.gr

ABSTRACT

Surface soils, as well as, irrigation water samples were monitored through the years 2004 and 2006 in an intensively cultivated area of Central Greece. In soil and water samples the ions Na^+, K^+, Ca^{++}, Mg^{++}, Cl^-, $SO_4^=$ and the elements B, Cu and Zn were measured. The SAR value was also determined in the irrigation water samples.65% of the water samples were considered not to be proper for irrigation because the can lead to the salination of the soils. Cu, Zn and B concentrations were similar than the concentrations reported in Thessaly region, in previous studies.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στην περιοχή του Αλμυρού Βόλου πραγματοποιήθηκε έρευνα με σκοπό την καταγραφή των επιπέδων των στοιχείων B, Cu, Zn, P, Na^{+}, K^{+}, Ca^{++}, Mg^{++}, Cl^{-}, $SO_4^{=}$ σε δείγματα εδάφους καθώς και νερού άρδευσης. Η περιοχή μελέτης καλλιεργείται εντατικά για πολλά χρόνια και η χρήση αζωτούχων και φωσφορικών λιπασμάτων γίνεται σε τέτοιες ποσότητες που προκαλούν ανησυχία για πιθανή υποβάθμιση των εδαφών της περιοχής, αλλά και ρύπανση του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα [1, 2]. Στην περιοχή συχνή είναι και η χρήση χαλκούχων σκευασμάτων, αλλά και η χρήση βόρακα σε καλλιέργεια ελιάς. Παράλληλα, στο νότιο μέρος της περιοχής μελέτης υπάρχει έντονη βιομηχανική δραστηριότητα από εργοστάσιο επεξεργασίας σιδηροκραμάτων. Τέλος στο νοτιοανατολικό μέρος της περιοχής υπάρχει η επαφή με τον Παγασητικό κόλπο και τα εδάφη είναι γνωστό ότι λόγω της υψηλής τιμής της ηλεκτρικής αγωγιμότητας αλλά και των υψηλών συγκεντρώσεων νατρίου, ασβεστίου και μαγνησίου υπάρχει κίνδυνος να υποστούν αλάτωση ή και νατρίωση και να υποβαθμιστούν [3, 4]. Για την απεικόνιση της ρύπανσης στην περιοχή μελέτης κατασκευάστηκαν θεματικού χάρτες με χρήση των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών, οι οποίοι παρέχουν πληροφορίες πρόβλεψης των επιπέδων των στοιχείων που μελετήθηκαν [5, 6] .

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Η περιοχή μελέτης είναι η περιοχή του Αλμυρού του νομού Μηγνησίας. Περιλαμβάνει μια έκταση 13400 στρεμμάτων και περιέχει την περιοχή της πόλης του Αλμυρού, της Ευξεινούπολης και της Σούρπης. Κατά τα έτη 2004 έως και 2006 συνελέγησαν 251 επιφανειακά (0-30) δείγματα εδάφους, για κάθε έτος. Τα εδαφικά δείγματα αεροξηράνθηκαν, λειοτριβήθηκαν και διήλθαν από κόσκινο (2mm). Ακολούθησαν οι εξής εδαφολογικές αναλύσεις [7]: προσδιορισμός του pH και της Ηλεκτρικής Αγωγιμότητας (EC) σε αιώρημα εδάφους-νερού με αναλογία 1:1, προσδιορισμός της μηχανικής σύστασης με τη μέθοδο του Βουγιούκου και της οργανικής ουσίας με την τροποποιημένη μέθοδο των Walkey-Black. Η συγκέντρωση του φωσφόρου προσδιορίστηκε με τη μέθοδο OLSEN. Οι υδατοδιαλυτές συγκεντρώσεις των ανιόντων (Cl^{-}, $SO_4^{=}$) προσδιορίστηκαν με τη χρήση ιοντικού χρωματογράφου Methrohm 1200E. Για τον προσδιορισμό των ανταλλάξιμων συγκεντρώσεων όλων των κατιόντων πραγματοποιήθηκε εκχύλιση με διάλυμα CH_3COONH_4 (pH=7) και μέτρηση των Na^{+}, K^{+} με τη χρήση φλογοτοφωτομέτρου Sherwood 100, ενώ τα Ca^{++}, Mg^{++} προσδιορίστηκαν με τη χρήση φασματοφωτομέτρου Ατομικής Απορρόφησης Perkin Elmer 3300. Για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης των μετάλλων που είναι διαθέσιμα στο έδαφος χρησιμοποιήθηκε εκχυλιστικό διάλυμα DTPA [8]. Ο ποσοτικός προσδιορισμός των μετάλλων έγινε στο εκχύλισμα με τη βοήθεια Ατομικής Απορρόφησης [9]. Η συγκέντρωση του βορίου προσδιορίστηκε με τη μέθοδο της αζωμεθίνης.

100 δείγματα νερού άρδευσης, για κάθε έτος, συγκεντρώθηκαν από γεωτρήσεις της περιοχής μελέτης. Η τιμή του pH και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας προσδιορίστηκαν στο πεδίο δειγματοληψίας με φορητά όργανα του οίκου Methrohm. Τα υπόλοιπα στοιχεία προσδιορίστηκαν με τις ανάλογες μεθόδους όπως και στα δείγματα εδάφους.

Για την κατασκευή των θεματικών χαρτών χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό ArcGIS v.9.1 καθώς και οι προεκτάσεις αυτού ArcTools και ArcMap. Ως υπόβαθρο χρησιμοποιήθηκαν τοπογραφικά φύλλα (1:5.000) της ΓΥΣ, τα οποία ψηφιοποιήθηκαν με χρήση του ARC/INFO (v.9). Όλα τα δεδομένα των αναλύσεων μεταφέρθηκαν στη βάση δεδομένων που κατασκευάστηκε και που ήταν συνδεδεμένη με το χάρτη αναφοράς. Κατόπιν κατασκευάστηκαν θεματικοί χάρτες με χρήση της γεωστατιστικής

μεθόδου Ordinary Kriging [6]. Οι θεματικοί χάρτες χρησιμοποιήθηκαν για την απεικόνιση της ρύπανσης στην περιοχή μελέτης και τα σημεία δειγματοληψίας αφορούσαν τις αντίστοιχες τομές των εδαφικών δειγμάτων. Για την εύρεση στατιστικά σημαντικής ή όχι διαφοράς μεταξύ των τιμών των συγκεντρώσεων των μετάλλων μεταξύ των ετών, χρησιμοποιήθηκε το *κριτήριο Student* (Student *t*-test). Οι συγκρίσεις αφορούσαν κάθε φορά δύο ανεξάρτητα πακέτα δεδομένων *(Comparison of Two Independent Sets of Data)* ή γίνονταν συγκρίσεις ζευγών *(Paired Comparisons*).

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Στον *Πίνακα 1* παρουσιάζονται οι φυσικοχημικές ιδιότητες των εδαφικών δειγμάτων. Τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται είναι ο μέσος όρος των τριών ετών.

Σε όλη την περιοχή μελέτης το ποσοστό της οργανικής ουσίας ήταν χαμηλό με εξαίρεση 6 δείγματα εδάφους στα οποία το ποσοστό της οργανικής ουσίας έφτασε στην τιμή του 5%.

Πίνακας 1. Φυσικοχημικές ιδιότητες των εδαφικών δειγμάτων

	pH (1:1)	**Ηλεκτρική αγωγιμότητα (μS cm^{-1})**	**Οργανική ουσία (%)**	**Άργιλος (%)**
Ελάχιστη τιμή	5,0	123	0,9	13
Μέγιστη τιμή	8,4	3000	5	44
Μέση τιμή	6,3	1560	2,4	22
CV %	17	54	32	18

Στον *Πίνακα 2* παρουσιάζονται οι συγκεντρώσεις των στοιχείων που προσδιορίστηκαν στα εδαφικά δείγματα κατά τη διάρκεια των ετών της μελέτης. Τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται είναι ο μέσος όρος των τριών ετών, καθώς μεταξύ των αποτελεσμάτων δεν παρουσιάστηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές.

Πίνακας 2. Συγκεντρώσεις στοιχείων στα εδαφικά δείγματα

	B	**Cu**	**Zn**	**P**	**Na^+**	**K^+**	**Ca^{++}**	**Mg^{++}**	**Cl^-**	**$SO_4^=$**
	mg στοιχείου /kg ξηρού εδάφους									
Ελάχιστη τιμή	0,1	0,1	0,1	0,5	80	32	45	23	35	24
Μέγιστη τιμή	1,1	5,2	2,7	85	600	456	444	321	366	255
Μέση τιμή	0,5	2,2	1,9	55	455	234	322	222	234	102
CV %	25	29	17	33	54	66	56	45	39	28

Τα εδαφικά δείγματα παρουσιάστηκαν εφοδιασμένα με αφομοιώσιμο φώσφορο, αλλά και με ανταλλάξιμο κάλιο. Οι τιμές των διαθέσιμων συγκεντρώσεων του χαλκού και του ψευδαργύρου, αλλά και του βορίου, παρουσίασαν τιμές ανάλογες που αναφέρονται σε άλλες επιστημονικές εργασίες [10, 11]. Στον *Πίνακα 3* παρουσιάζονται οι συγκεντρώσεις των στοιχείων που προσδιορίστηκαν στα δείγματα νερού άρδευσης. Τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται, όπως και στην περίπτωση των δειγμάτων εδάφους, είναι ο μέσος όρος των τριών ετών, καθώς μεταξύ των αποτελεσμάτων δεν παρουσιάστηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές.

Πίνακας 3. Συγκεντρώσεις στοιχείων στα δείγματα νερού άρδευσης

	pH	**EC**	**B**	**Cu**	**Zn**	**P**	**K^+**	**Cl^-**	**$SO_4^=$**
		$\mu S\ cm^{-1}$				mg στοιχείου /L			
Ελάχιστη τιμή	6,5	204	0,1	0,1	0,1	0,5	32	35	24
Μέγιστη τιμή	7,5	4000	1,1	5,2	2,7	85	456	366	255
Μέση τιμή	7	1244	0,5	2,2	1,9	55	234	234	102
CV %	14	34	25	29	17	33	66	39	28
Μέγιστες επιτρεπτές τιμές	<9,5	2500	1	2	1	5	12	250	250

Στην τελευταία σειρά του *Πίνακα 3* παρουσιάζονται οι μέγιστες επιτρεπτές τιμές των αντίστοιχων στοιχείων (ΦΕΚ 892/11-7-2001). Από τη σύγκριση των τιμών που προσδιορίστηκαν σε σχέση με τις αντίστοιχες μέγιστες επιτρεπτές, προκύπτει ότι οι μέσες συγκεντρώσεις των στοιχείων δεν ξεπέρασαν τις μέγιστες επιτρεπτές.

Οι συγκεντρώσεις του χαλκού και ψευδαργύρου, αλλά και του βορίου παρουσιάζουν τιμές της ίδιας τάξης μεγέθους με τιμές που παρουσιάστηκαν σε άλλες καλλιεργούμενες περιοχές της Θεσσαλίας [10, 11]. Οι τιμές των συγκεντρώσεων των ιόντων νατρίου, ασβεστίου και μαγνησίου, χρησιμοποιήθηκαν προκειμένου να προσδιοριστεί η τιμή του SAR (Sodium Adsorption Ratio). Στον *Πίνακα 4* παρουσιάζεται κατάταξη των δειγμάτων του νερού άρδευσης με βάση την τιμή του SAR.

Πίνακας 4. Τιμές SAR στα δείγματα νερού άρδευσης

Τιμή SAR	**Κίνδυνος πρόκλησης νατρίωσης εδαφών**	**Ποσοστό των νερών άρδευσης**
<3	δεν προκαλούν κανένα κίνδυνο νατρίου στο έδαφος	35, 5%
3-6	προκαλούν μικρό κίνδυνο νατρίου στο έδαφος	15,5%
6-12	προκαλούν μεγάλο κίνδυνο νατρίου στο έδαφος	25,5%
12-20	προκαλούν πολύ μεγάλο κίνδυνο νατρίου στο έδαφος	17,5%
20	ακατάλληλα για άρδευση	6%

Από τη μελέτη του Πίνακα 4 προκύπτει ότι ένα μεγάλο ποσοστό των νερών άρδευσης (35, 5%) δεν εγκυμονεί κανένα κίνδυνο νατρίωσης των εδαφών στα οποία χρησιμοποιείται για άρδευση. Αντίθετα ένα ποσοστό ίσο με 6 % των δειγμάτων νερού άρδευσης κάθε έτους θεωρείται ακατάλληλο για άρδευση, καθώς ενδέχεται να προκαλέσει προβλήματα νατρίωσης στα εδάφη τα οποία αρδεύονται. Τα δείγματα τα οποία παρουσίασαν υψηλές τιμές SAR και στα τρία έτη της μελέτης βρίσκονται κοντά στη θάλασσα και συγκεκριμένα στον όρμο της Σούρπης. Ιδιαίτερη μέριμνα και συνεχείς μετρήσεις είναι αναγκαίο να γίνονται στη συγκεκριμένη περιοχή προκειμένου να αποφευχθούν κίνδυνοι υποβάθμισης των εδαφών.

Με βάση τις χημικές αναλύσεις των εδαφικών δειγμάτων κατασκευάστηκαν θεματικοί χάρτες στους οποίους απεικονίζονται τα επίπεδα των στοιχείων (μέσοι όροι των τριών ετών της μελέτης) και οι οποίο παρέχουν μια δυνατότητα πρόβλεψης της χωρικής μεταβλητότητας των επιπέδων σε όλη την έκταση της περιοχής μελέτης. Για την κατασκευή των χαρτών χρησιμοποιήθηκαν οι μέθοδοι Γεωστατιστικής Ανάλυσης, οι

παράμετροι καθώς και τα μαθηματικά κριτήρια, όπως αυτά αναφέρονται στον *Πίνακα 5* που ακολουθεί:

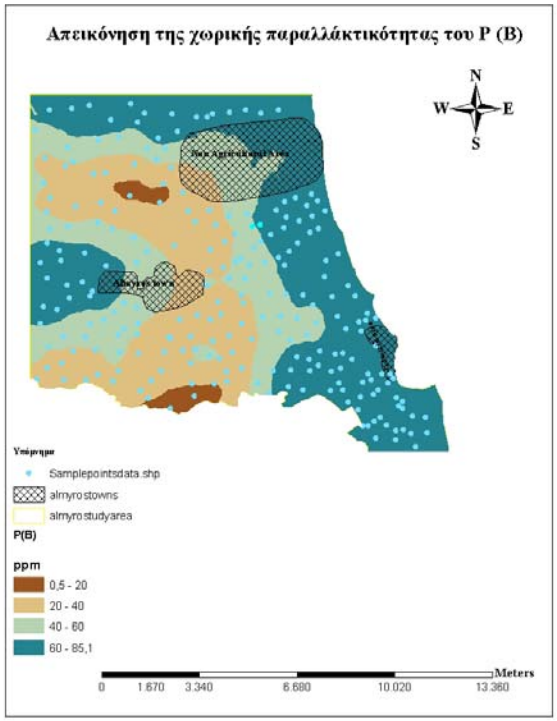
Πίνακας 5: Μέθοδοι Γεωστατιστικής Ανάλυσης, παράμετροι και μαθηματικά κριτήρια που χρησιμοποιήθηκαν στην κατασκευή των θεματικών χαρτών

	Χάρτης 1	**Χάρτης 2**	**Χάρτης 3**	**Χάρτης 4**
Γεωστατιστική Μέθοδος	Ordinary kriging	Ordinary kriging	Ordinary kriging	Ordinary kriging
Προσαρμογή	Λογαρίθμου	Καμία	Λογαρίθμου	Καμία
Πρότυπο	Σφαιρικό	Σφαιρικό	Κυκλικό	Σφαιρικό
Ανισοτροπία	Ναι	Ναι	Ναι	Ναι
Αριθμός Nugget	0,2443	0,5298	0,028	0,6970
M.P.E.(1)	-0,0089	0,0022	-0,0052	0,0031
R.M.S.(2)	0,5577	0,5698	0,6598	0,7228
R.M.S.Sd.(3)	1,029	1,008	1,105	1,010
$\mathbf{R^2}$	0,659	0,758	0, 589	0,779

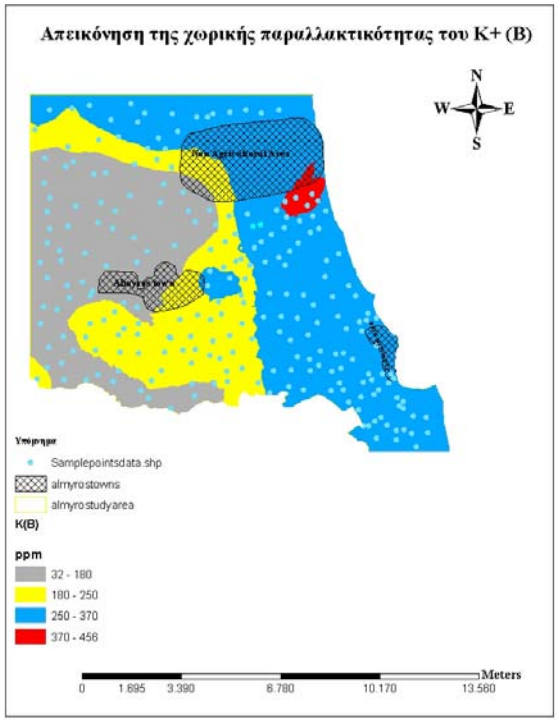
(1) Mean Prediction error, (2) Root-Mean-Square, (3) Root-Mean-Square-Standardized

Από τη μελέτη του *Χάρτη 1* προκύπτει ότι ποσοστό ίσο με 24,5% των εδαφικών δειγμάτων παρουσίασε συγκέντρωση αφομοιώσιμου φωσφόρου μεγαλύτερη από 50 mg P/kg ξηρού εδάφους. Τα εδάφη αυτά είναι πλήρως εφοδιασμένα με φώσφορο και πριν οι αγρότες συνεχίσουν τη χρήση φωσφορικών λιπασμάτων θα πρέπει να προβούν σε εδαφολογικές αναλύσεις ή ακόμη καλύτερα σε φυλλοδιαγνωστική, προκειμένου να χρησιμοποιήσουν μόνο τις αναγκαίες για τις καλλιέργειές τους ποσότητες λιπασμάτων.

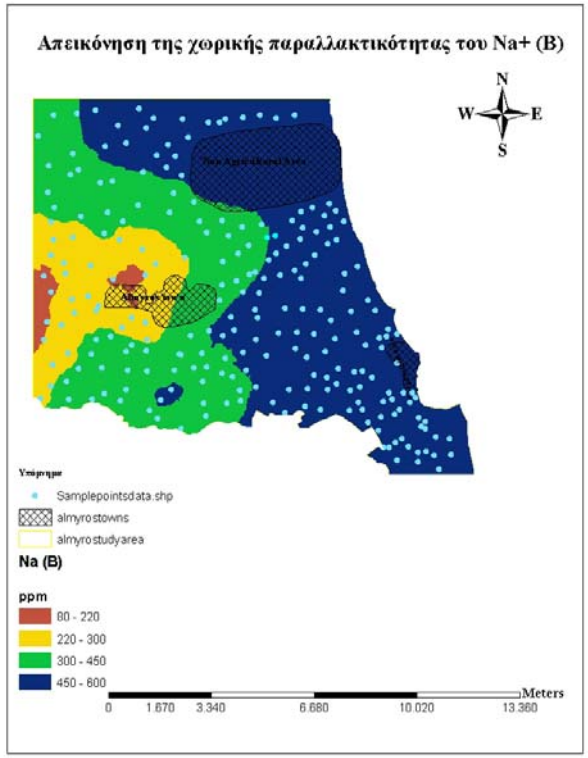
Αντίστοιχα, από τη μελέτη του *Χάρτη 2* προκύπτει ότι ποσοστό ίσο με 33,5% των εδαφικών δειγμάτων παρουσίασε συγκέντρωση ανταλλάξιμου καλίου μεγαλύτερη από 250 mg K/kg ξηρού εδάφους, ενώ 8,9% των εδαφικών δειγμάτων παρουσίασε συγκέντρωση μεγαλύτερη από 370 mg K/kg ξηρού εδάφους . Τα εδάφη αυτά είναι πλήρως εφοδιασμένα με κάλιο, το οποίο ικανοποιεί το σύνολο των αναγκών των καλλιεργειών της περιοχής. Στους Χάρτες 3 και 4 γίνεται μια συγκριτική αντιπαράθεση της συγκέντρωσης του ανταλλάξιμου νατρίου της περιοχής μελέτης και της τιμής της ηλεκτρικής αγωγιμότητας των εδαφικών δειγμάτων (μέσοι όροι των αποτελεσμάτων των τριών ετών της μελέτης). Ποσοστό ίσο με 67% των εδαφικών δειγμάτων παρουσιάζει συγκεντρώσεις ανταλλάξιμου νατρίου μεγαλύτερες από 300 mg Na^+/kg ξηρού εδάφους. Στην ίδια ακριβώς περιοχή η τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας ξεπερνά τα 1000 μS/cm και όσο πλησιάζουμε προς τη θάλασσα η τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας μεγαλώνει μέχρι την τιμή των 3000 μS/cm. Τα δεδομένα αυτά, σε συνδυασμό με τα αποτελέσματα των νερών άρδευσης της περιοχής οδηγούν στο συμπέρασμα ότι υπάρχει κίνδυνος υποβάθμισης των εδαφών, οπότε είναι απαραίτητο να ληφθεί η απαραίτητη μέριμνα ώστε ο κίνδυνος αυτός να αποφευχθεί ή έστω να ελαττωθεί.



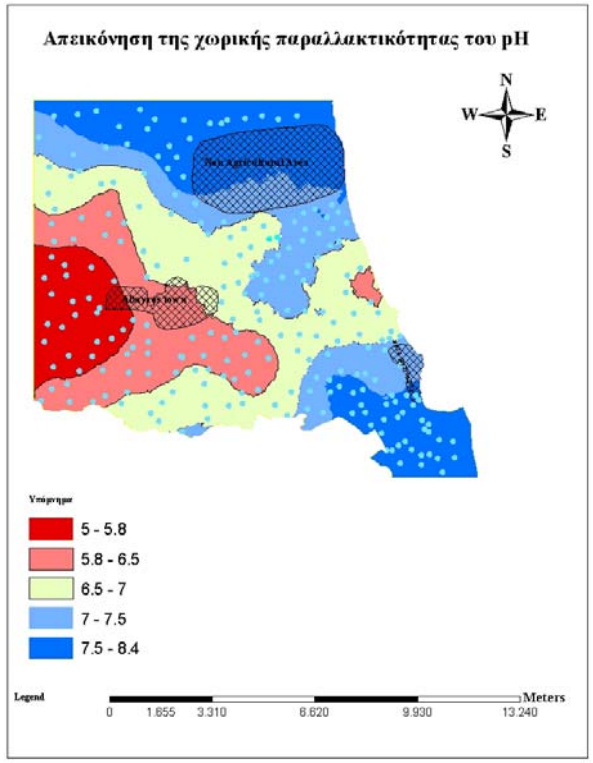
Χάρτης 1: Χάρτης πρόβλεψης P



Χάρτης 2: Χάρτης πρόβλεψης K^+



Χάρτης 3: Χάρτης πρόβλεψης Na^+



Χάρτης 4: Χάρτης πρόβλεψης pH

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Malkakis, K.G., Golia, E.E. Stamatopoulou, I.G., Floras, S.A. and Mitsios, I.K.. 2006. Study of spatial variability of available phosphorus (Olsen), boron, nitrates and nitrites in almyros region (central Greece), using geostatistics. *Proc. of Int. Confer. On: Information Systems in Sustainable Agriculture, Agro environment and Food Technology. Volos, 22-25 September.*
2. Μήτσιος, Ι.Κ., Γκόλια Ε.Ε. και Τάμπαλη, Χρ.Σ. 1999. Ποιοτική Κατάταξη και Διαχείριση των Αρδευτικών Νερών του Νομού Μαγνησίας. *1ο Ειδικό Συνέδριο: Η Ανάπτυξη του Πρωτογενούς Τομέα τον 21ο Αιώνα. Η Συμβολή της Επιστήμης του Μάνατζμεντ.* Ιωάννινα 29-31 Οκτωβρίου. Σελ. 58.
3. Μήτσιος Ι.Κ., 1996. *Αλατούχα και Αλκαλιωμένα (με νάτριο) εδάφη. Ποιοτική κατάταξη των νερών άρδευσης*. Εκδόσεις Zymel, Αθήνα 1996.
4. Christiansen, J.E.,Olsen, E.G. and Willardson L.S., 1972. Irrigation water quality.J'Irrig. and Drain, *Div. ASCE*, 103,2,155-169.
5. Γκόλια, Ε.Ε. 2006. *Ρύπανση Εδαφών. Βελτίωση και διαχείριση Προβληματικών εδαφών*. Πανεπιστημιακές παραδόσεις. Βόλος. Σελ. 87.
6. Mitsios, I.K., Golia, E.E. and Floras S.A., 2003. Gis-based monitoring heavy metals content in soils of Thessaly area, (central Greece). *Proc. of Int. Congr. for Geographical Information Systems and Remote Sensing: Environmental Applications*, Volos, Creece-7-9 November 2003.
7. Page, A.L., Miller, H.R. and Keeney, R.D. 1982. Methods of Soil Analysis Part II-*Chemical and Microbiological Properties* Second Edition. American Society of Agronomy, Inc. Soil Science of America,.Inc. Madison, Wisconsin USA. 577p.
8. Lindsay, W.L. and Norvell, W.A. 1978. Development of a DTPA test for Zinc, Iron, Manganese and Copper. *Soil Sci. Soc. Am. J.* (42), 421-428.
9. Welz, B.1985.*Atomic Absorption Spectrometry*. Verlag Chemie. Weinheim, 210p.
10. Μήτσιος, Ι. Κ. Γκόλια Ε. Ε. και Ρίζου. Ζ., 2000. Επίπεδα Συγκέντρωσης Βορίου σε Εδάφη Καλλιεργούμενα με Καπνό και σε Νερά Άρδευσης της Θεσσαλίας. *2Ο Ειδικό Συνέδριο Γεωργικής Μηχανικής*. Βόλος, 28-30 Σεπτεμβρίου. Σελ. 263-270.
11. Μήτσιος, Ι.Κ., Γκόλια Ε.Ε. και Χριστοδούλου Ε.Σ., 2000. Προσδιορισμός της Συγκέντρωσης των Βαρέων Μετάλλων σε Εδάφη και Νερά άρδευσης της Περιοχής Θεσσαλίας. *2Ο Ειδικό Συνέδριο Γεωργικής Μηχανικής*. Βόλος, 28-30 Σεπτεμβρίου. Σελ. 271-280.

(120)

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΕΝΣΩΜΑΤΟΥΜΕΝΗΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΜΑΖΑΣ ΡΙΓΑΝΗΣ ΚΑΙ ΒΑΣΙΛΙΚΟΥ ΣΤΙΣ ΧΗΜΙΚΕΣ ΚΑΙ ΒΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ ΣΕ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ ΒΑΜΒΑΚΙΟΥ ΚΑΙ ΑΡΑΒΟΣΙΤΟΥ

Ν. Χουλιαράς, Φ. Γραβάνης, Η. Αναστασόπουλος, Ι. Βασιλάκογλου, Ν. Γκουγκουλιάς, Ι. Βαγγέλας, Α. Τσιτσιγιάννης και Ε. Βογιατζή
Τμήμα Φυτικής Παραγωγής, ΤΕΙ Λάρισας, 411 10 Λάρισα, chouliar@teilar.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σε πείραμα αγρού μελετήθηκε η ενσωμάτωση φυτικής μάζας 4 γενότυπων ρίγανης και 3 ποικιλιών βασιλικού, σε καλλιέργειες αραβόσιτου και βαμβακιού που σπάρθηκαν μετά την ενσωμάτωση των αρωματικών φυτών. Το πείραμα περιελάμβανε επιπλέον ασκάλιστο και σκαλισμένο μάρτυρα (δίχως ενσωμάτωση φυτικής μάζας). Κατά το τέλος Αυγούστου, από κάθε πειραματικό τεμάχιο ελήφθη εδαφικό δείγμα βάθους 5 cm. Στις επεμβάσεις με εφαρμογές βασιλικού βρέθηκαν μικρότερες περιεκτικότητες σε οργανική ουσία ενώ στα δείγματα από τους ασκάλιστους μάρτυρες, παρατηρήθηκε η μικρότερη ανάπτυξη βακτηρίων.

EFFECTS OF OREGANO AND BASIL RESIDUE INCORPORATION IN SOIL CHEMICAL AND BIOLOGICAL PROPERTIES CULTIVATED WITH CORN AND COTTON

N. Chouliaras, F. Gravanis, I. Vasilakoglou, E. Anastassopoulos, N. Gougoulias, I. Vagelas, A. Tsitsigiannis and E. Wogiatzi
Department of Crop Production, TEI of Larissa, 411 10 Larissa, chouliar@teilar.gr

ABSTRACT

Field experiment was conducted to study the effects of residue incorporation of 4 oregano genotypes and 3 sweet basil varieties in soil chemical and biological properties. Both weedy and weed-free controls (plots without residue incorporation) were also included. Soil samples from 5 cm depth were taken on late August and were analyzed. The obtained data showed a lower content in soil organic matter into plots with basil, and a lower development of bacteria colonies into soil samples from no weeding plots.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στις σύγχρονες εναλλακτικές μορφές γεωργίας όπως η ολοκληρωμένη διαχείριση γεωργικής παραγωγής και η οικολογική ή βιολογική γεωργία, επιβάλλεται η αντικατάσταση των χημικών παρασκευασμάτων με φυσικά πρόσθετα, κατά την καταπολέμηση των φυτονόσων. Μεταξύ αυτών περιλαμβάνονται τα φυτικά αιθέρια έλαια για τα οποία υπάρχουν ήδη δεδομένα για το ρόλο τους ως φυτοπροστατευτικών ουσιών έναντι εδαφογενών παθογόνων [1]. Η εφαρμογή υλικών όπως τα προαναφερθέντα, στο έδαφος επιδρά στη βιολογική δραστηριότητα της μικροχλωρίδας που επηρεάζει με τη σειρά της τη γονιμότητά του. Ιδιαίτερη σημασία αποδίδεται στη βιοχημική λειτουργία του εδαφικού συστήματος όταν σ' αυτό εφαρμόζεται οργανικό λίπασμα ή οργανικό εδαφοβελτιωτικό διαφόρων ειδών και προελεύσεων [2], [3], διότι τα οργανικά υλικά καθορίζουν δραστικά τη θρέψη των μικροβίων που επιδρούν στη γονιμότητα του. Σε προηγούμενες εργασίες διαπιστώθηκε η επίδραση της ρίγανης και του βασιλικού στη μικροβιακή χλωρίδα του εδάφους, που καθορίζει την αποδόμηση κομποστοποιημένων οργανικών λιπασμάτων [4], [5]. Σύμφωνα μ' αυτές τις έρευνες, διαπιστώθηκε, σε συνθήκες εργαστηρίου, ότι παρουσία φυλλικών ιστών ρίγανης επιβραδύνεται η αποδόμηση των οργανικών λιπασμάτων, ενώ παρουσία του βασιλικού επιταχύνεται. Επίσης σε άλλη εργασία *in vitro*, βρέθηκε ότι η αποδόμηση στο έδαφος των φυτικών ιστών ρίγανης ήταν μικρότερη σε σύγκριση με την αποδόμηση των φυτικών ιστών βασιλικού [6]. Στην παρούσα εργασία μελετάται η επίδραση της ενσωμάτωσης φυτικών ιστών ρίγανης και βασιλικού στο έδαφος, σε συνθήκες αγρού καλλιεργούμενου με βαμβάκι και καλαμπόκι για μια καλλιεργητική περίοδο, και οι επιδράσεις αυτής της εφαρμογής στις χημικές και βιολογικές ιδιότητες του εδάφους.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Σε πείραμα αγρού που διεξήχθη στο Αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης εγκαταστάθηκαν 4 γενότυποι ρίγανης (*Origanum vulgare*) και 3 ποικιλίες βασιλικού (*Ocimum basilicum*). Τα φυτά ρίγανης και βασιλικού ενσωματώθηκαν στο έδαφος με φρέζα στο στάδιο έναρξης της ανθοφορίας (09-06-06) σε βάθος 8-10 cm και στη συνέχεια στα ίδια πειραματικά τεμάχια έγινε σπορά αραβόσιτου και βαμβακιού (φωτογραφία 1). Το πείραμα περιελάμβανε επιπλέον μάρτυρες (τεμάχια δίχως ενσωματούμενη φυτική μάζα) με ζιζάνια (ασκάλιστα) και δίχως ζιζάνια (σκαλισμένα). Πριν την εγκατάσταση των αρωματικών φυτών, ολόκληρος ο πειραματικός αγρός λιπάνθηκε με 5 m^3 ανά στρέμμα κοπριάς βοοειδών, η εφαρμογή ενσωματώθηκε σε βάθος 5-6 cm και αυτή η βασική λίπανση κάλυψε όλες τις επεμβάσεις. Άλλη λίπανση (επιφανειακή) δεν πραγματοποιήθηκε, για να περιοριστούν κατά το δυνατόν οι παράγοντες που επιδρούν στις φυσικο-χημικο-βιολογικές ιδιότητες του εδάφους. Το τρίτο δεκαήμερο του Αυγούστου 2006, από κάθε πειραματικό τεμάχιο ελήφθη ένα εδαφικό δείγμα βάθους 5 cm. Το βάθος αυτό ανταποκρίνεται σε στρώμα ευνοϊκό για την ανάπτυξη της μικροβιακής βιομάζας [7], [8]. Οι ιδιότητες του εδάφους του πειράματος κατά την εποχή της δειγματοληψίας, καταγράφονται στον πίνακα 1.

Στα εδαφικά δείγματα έγιναν οι παρακάτω εργαστηριακοί προσδιορισμοί [9]:

- Ο οργανικός άνθρακας μετρήθηκε μετά από χημική οξείδωσή του με N $K_2Cr_2O_7$ και τιτλοδότηση της περίσσειας του $K_2Cr_2O_7$ με 0,5 N $FeSO_4$.
- Οι περιεχόμενες αμμωνιακές και νιτρικές μορφές εκχυλίστηκαν σε αναλογία 1:10 με διάλυμα N $CaCl_2$ και προσδιορίστηκαν με απόσταξη παρουσία MgO και κράματος Dewarda, αντίστοιχα.

Φωτογραφία 1. Άποψη πειραματικών τεμαχίων αραβοσίτου και βαμβακιού στο αγρόκτημα του Αριστοτέλειου Πανεπιστήμιου (Φωτο-Αυγούστου 2006).

Πίνακας 1. Ιδιότητες του εδάφους σε βάθος 5 cm (ασκάλιστος μάρτυρας)

Υφή	L (πηλώδες)
Οργανική Ουσία (%)	2,6
pH	8,63
$CaCO_3$ (%)	5,2
Ηλεκτρική Αγωγιμότητα dS/m, (1έδαφος:5 H_2O)	0,27
ΙΑΚ, cmol/kg	37,4
Na –εναλλακτικό, cmol/kg	0,43
N-ολικό %	0,18
P –Olsen, μg/g	14,2
K –εναλλακτικό, μg/g	101,7

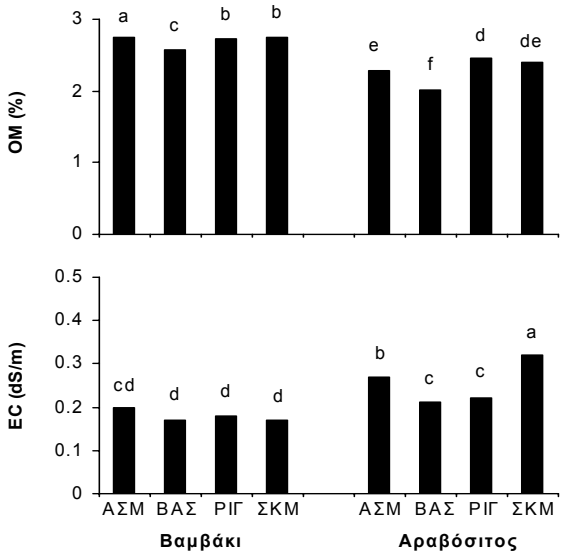
- Ο αφομοιώσιμος φώσφορος μετρήθηκε με τη μέθοδο Olsen (εκχύλιση με 0,5 N $NaHCO_3$).
- Οι αφομοιώσιμες μορφές καλίου εκχυλίστηκαν με N CH_3COONH_4 και μετρήθηκαν στο φλογοφωτόμετρο.
- Οι αφομοιώσιμες μορφές μετάλλων (Mn, Zn, Cu) εκχυλίστηκαν με DTPA και μετρήθηκαν με ατομική απορρόφηση.

Για την έρευνα της επίδρασης της ρίγανης και του βασιλικού στην εδαφική μικροχλωρίδα, μικρή ποσότητα εδάφους (0,01 g) διασκορπίστηκε σε τριβλία PDA που επωάστηκαν για δύο ημέρες σε 25 ^oC στο σκοτάδι και κάθε μεταχείριση είχε 8 επαναλήψεις [10]. Σε κάθε τριβλίο μετρήθηκε ο αριθμός των βακτηριακών αποικιών.

Το πειραματικό σχέδιο ήταν αυτό των υποδιαιρεμένων τεμαχίων με 4 ομάδες, όπου τα ενσωματούμενα αρωματικά φυτά αποτελούσαν τα κύρια τεμάχια, ενώ οι καλλιέργειες

του αραβόσιτου και του βαμβακιού τα υποτεμάχια. Επιπλέον, ορθόγωνες συγκρίσεις χρησιμοποιήθηκαν για να βρεθεί η επίδραση των δύο φυτικών ειδών (ρίγανης και βασιλικού) στις εδαφικές ιδιότητες, σε σύγκριση με τους δύο μάρτυρες (σκαλισμένος και ασκάλιστος). Η ανάλυση και η παρουσίαση των δεδομένων έγινε με τα προγράμματα MSTAT και EXCEL, αντίστοιχα.

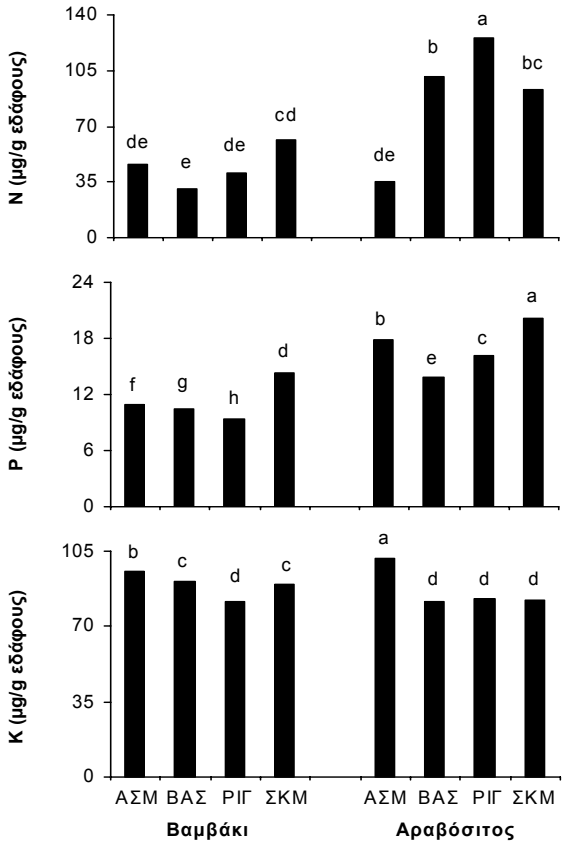
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ



ΑΣΜ: ασκάλιστος μάρτυρας, ΒΑΣ: βασιλικός, ΡΙΓ: ρίγανη, ΣΚΜ: σκαλισμένος μάρτυρας. Σε κάθε σχήμα, στήλες με το ίδιο γράμμα δε διαφέρουν στατιστικώς σε επίπεδο σημαντικότητας 5%.

Σχήμα 1. Περιεκτικότητα του εδάφους σε οργανική ουσία (ΟΜ) και αντίστοιχη ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC) του εκχυλίσματος στο νερό (1 έδαφος:5 H_2O).

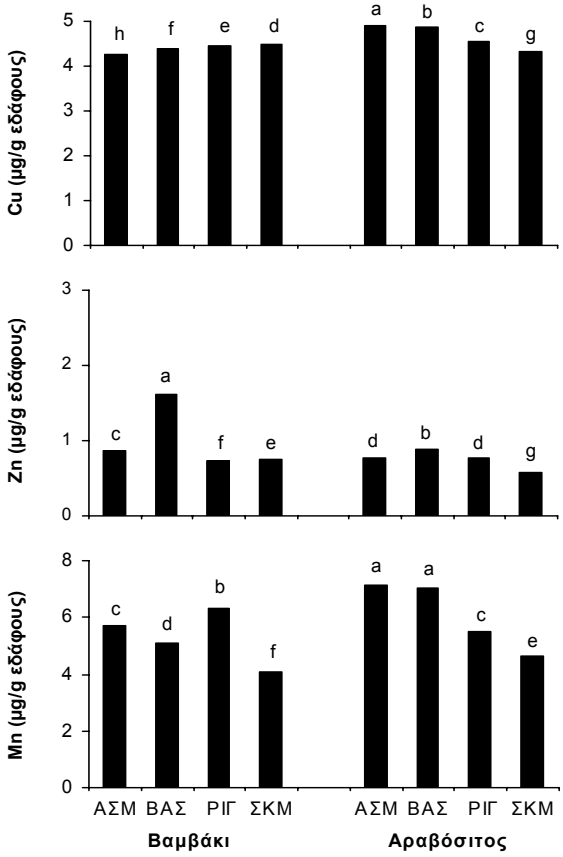
Και στις δύο καλλιέργειες (αραβόσιτου και βαμβακιού), βρέθηκε μειωμένη περιεκτικότητα σε οργανική ουσία παρουσία βασιλικού σε σύγκριση με τις υπόλοιπες επεμβάσεις της κάθε καλλιέργειας (Σχήμα 1). Στην καλλιέργεια αραβόσιτου παρατηρείται μειωμένη αλατότητα στις επεμβάσεις με ρίγανη και βασιλικό σε σύγκριση με τις σκαλισμένες και ασκάλιστες επεμβάσεις. Επίσης μικρότερη αλατότητα παρατηρείται στην καλλιέργεια βαμβακιού και στις επεμβάσεις βασιλικού, ρίγανης και σκαλισμένου μάρτυρα σε σύγκριση με τον ασκάλιστο αλλά αυτή η μείωση είναι ασθενέστερη σε σύγκριση με την παρατηρηθείσα στο πείραμα του αραβόσιτου (Σχήμα 1).



ΑΣΜ: ασκάλιστος μάρτυρας, ΒΑΣ: βασιλικός, ΡΙΓ: ρίγανη, ΣΚΜ: σκαλισμένος μάρτυρας.

Σχήμα 2. Περιεκτικότητες των εδαφικών δειγμάτων σε ανόργανο άζωτο (νιτρικό + αμμωνιακό), σε αφομοιώσιμο φωσφόρο και σε αφομοιώσιμο κάλι.

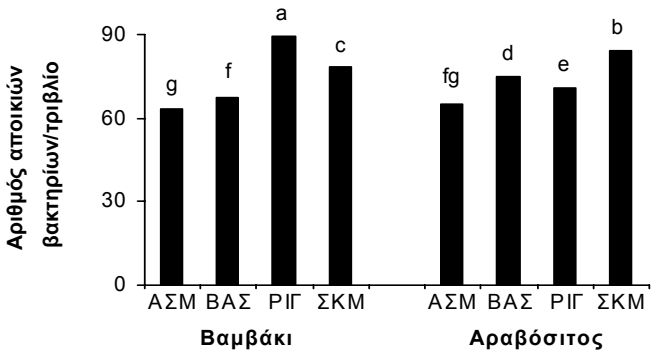
Στην καλλιέργεια του βαμβακιού στα τεμάχια με ενσωμάτωση ρίγανης και βασιλικού παρατηρείται μείωση της περιεκτικότητας σε ανόργανο άζωτο, σε σύγκριση με τους μάρτυρες (Σχήμα 2). Αντίθετα, στην καλλιέργεια του αραβόσιτου στις αντίστοιχες επεμβάσεις η περιεκτικότητα σε ανόργανο άζωτο αυξήθηκε. Όσον αφορά τις αφομοιώσιμες μορφές Ρ και Κ και στις δύο καλλιέργειες, βρέθηκαν μειωμένες στις επεμβάσεις όπου έγινε ενσωμάτωση των δύο αρωματικών φυτών. Η μεγαλύτερη συγκέντρωση αφομοιώσιμου Ρ παρατηρήθηκε στους σκαλισμένους μάρτυρες, ενώ η μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε αφομοιώσιμο-Κ, παρατηρήθηκε στους ασκάλιστους μάρτυρες (Σχήμα 2).



Σχήμα 3. Περιεκτικότητες των εδαφικών δειγμάτων σε αφομοιώσιμες μορφές μετάλλων (Cu, Zn & Mn). ΑΣΜ: ασκάλιστος μάρτυρας, ΒΑΣ: βασιλικός, ΡΙΓ: ρίγανη, ΣΚΜ: σκαλισμένος μάρτυρας.

Η αφομοιώσιμη μορφή Cu βρέθηκε αυξημένη στον ασκάλιστο μάρτυρα της καλλιέργειας αραβοσίτου και μειωμένη στον σκαλισμένο μάρτυρα. Το αντίθετο διαπιστώθηκε στο βαμβάκι. Ο αφομοιώσιμος Zn βρέθηκε αυξημένος στις επεμβάσεις με ενσωμάτωση βασιλικού και στις δύο καλλιέργειες. Το αφομοιώσιμο Mn βρέθηκε μειωμένο στον σκαλισμένο μάρτυρα και στις δύο καλλιέργειες (Σχήμα 3).

Τέλος, σε εδάφη από τους ασκάλιστους μάρτυρες και των δύο καλλιεργούμενων φυτών μετρήθηκε η μικρότερη ανάπτυξη βακτηρίων ενώ στα δείγματα από τεμάχια όπου ενσωματώθηκε φυτική μάζα βασιλικού διαπιστώθηκε μικρότερη ανάπτυξη των αποικιών βακτηρίων, σε σύγκριση με τον σκαλισμένο μάρτυρα, και στις δύο καλλιέργειες (Σχήμα 4).



Σχήμα 4. Ανάπτυξη αποικιών βακτηρίων στα εδαφικά δείγματα προερχόμενα από τα αντίστοιχες επεμβάσεις. ΑΣΜ: ασκάλιστος μάρτυρας, ΒΑΣ: βασιλικός, ΡΙΓ: ρίγανη, ΣΚΜ: σκαλισμένος μάρτυρας.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΧΟΛΙΑΣΗ

Σε προηγηθέντα πειράματα *in vitro*, σε σταθερές και ελεγχόμενες συνθήκες περιβάλλοντος, και σε κλιμακούμενες δοσολογίες αρωματικών φυτικών ιστών στο έδαφος, διαπιστώθηκε ότι παρουσία φυλλικών ιστών ρίγανης επιβραδύνεται η αποδόμηση των οργανικών λιπασμάτων, παρουσία του βασιλικού επιταχύνεται, οι δε παρατηρηθείσες μεταβολές στις βιο-φυσικοχημικές ιδιότητες του εδάφους συνδέονται στενά μ' αυτά τα φαινόμενα [4], [5], [6]. Στο παρόν πείραμα αγρού επιβεβαιώνεται η μειωμένη παρουσία οργανικής ουσίας παρουσία βασιλικού, όμως η παραλλακτικότητα των κλιματικών παραμέτρων, η εφαρμογή καλλιεργητικών παρεμβάσεων και ο δεσπόζων ρόλος της ριζόσφαιρας κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου, πιθανόν επισκίασαν τις αντίστοιχες συνέπειες που παρατηρήθηκαν στα πειράματα *in vitro* με εφαρμογή ρίγανης.

Σε εδαφικά δείγματα προερχόμενα από τους ασκάλιστους μάρτυρες και των δύο καλλιεργούμενων φυτών παρατηρήθηκε η μικρότερη ανάπτυξη βακτηρίων, γεγονός που απαιτεί ιδιαίτερη καλλιεργητική αξιολόγηση. Τα βακτήρια του εδάφους μπορεί να είναι φυτοπαθογόνα οπότε ο περιορισμός τους είναι αναγκαίος ή ωφέλιμα οπότε ο περιορισμός της χρήσιμης δράσης τους δεν είναι επιδιωκόμενος.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ
Η παρούσα έρευνα χρηματοδοτήθηκε από την Ε.Ε. και το ΥΠ.Ε.Π.Θ. στα πλαίσια του ερευνητικού προγράμματος ΑΡΧΙΜΗΔΗΣ ΙΙ

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

1. Gravanis F.T., Vagelas I.K, Paraschi D, & V. Palamiotou. (2004). Effect of essential oils on soilborne tomato pathogens. [Abstarct] *The BCPC Seminars: Crop Science and Technology, Glasgow, Scotland, UK.* ISSN: 0955-1506, ISBN: 1-901396-63-0.
2. Χουλιαράς Ν., 1994. Η επίδραση της εφαρμογής οργανικών υλικών στη γονιμότητα του εδάφους. *Πρακτικά 5ου Πανελλήνιου Συν. Ελλην. Εδαφ. Εταιρείας, Α΄ τόμος, 383-399,* Θεσσαλονίκη.
3. Chouliaras N., J.C. Vedy, C. Tsadilas, 1998. Speciation of phosphate, Fe, Zn, Mn Cu and their availability in soils amended with sewage sludge. Proceedings of the 16th *World Congress Soil Science*, *Symposium 6*, *1-8 p.,* Montpellier,

4. Gravanis F.T., N. Chouliaras, I.K. Vagelas, N. Gougoulias, P. Sabani, E. Wogiatzi, 2005. The effect of oregano (*Origanum vulgare*) as an alternative soil-borne pathogen control agent, on soil organic matter biodegradation and other soil chemical properties. *Crop Science & Technology, Congress Proceedings,* Vol:1, P2A-11, 105-108.
5. Chouliaras N., F. T. Gravanis, I.Vasilakoglou, N. Gougoulias, I. Vagelas, T. Kapotis, E. Wogiatzi, 2007. The effect of basil on soil organic matter biodegradation and other soil chemical properties (in press, DOI: 10.1002/jsfsa. 2907).
6. Χουλιαράς Ν., Φ. Γραβάνης, Ι. Βασιλάκογλου, Ν. Γκουγκουλιάς, Ι. Βαγγέλας, Χ. Δροσινός & Ε. Βογιατζή, 2007. Η αποδόμηση φυλλικών ιστών ρίγανης και βασιλικού στο έδαφος. *Πρακτικά 2ου Πανελλήνιου Συμπόσιου «Πράσινη Χημεία & Βιώσιμη Ανάπτυξη», 8-10 Μαρτίου, Πανεπιστήμιο Πατρών, 8 σελ.*
7. Zaman M., K.C. Kameron, H.J. Di, K.Inubushi, 2002. Changes in mineral N, microbial biomass and enzyme activities in different soil depths after surface applications on dairy shed effluent and chemical fertilizer. *Nutrient Cycling in Agroecosystems , Volume 63, Numbers 2-3, pp. 275-290.*
8. Venzke Filho S.P., B.J. Feigl, M.C. Piccolo, L.Vante, M.S. Neto, C.C. Cerri, 2004. Root Systems and Soil Microbial Biomass under No-Tillage System. *Sci. Agric. (Piracicaba, Braz.) v.61, n.5, p.529-537.*
9. Page A.L., R.H. Miller & D.R. Keeney, 1982. *Methods of Soil Analysis. Part 2, Chemical & Microbiological properties.* Agronomy (9), ASSSA, Mad. Wisc. USA. 1159 pp.
10. Gravanis F.T., S. Xifilidou, D. Karadimos, N. Efstathiou, 2001. Effect of essential oils on soilborne tomato pathogens. *Phytopathol. Mediterr., 40, 203.*

(122)

Η ΕΠΟΧΙΚΗ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ ΤΟΥ ΒΙΟΔΙΑΘΕΣΙΜΟΥ ΦΩΣΦΟΡΟΥ (BioP), ΣΕ ΑΜΠΕΛΩΝΕΣ ΜΕ ΔΥΟ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ - ΟΡΓΑΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΣΥΜΒΑΤΙΚΗΣ

Σιήμης Α. και Παυλάτου –Βε Α.
Εργαστήριο Εδαφολογίας, Γεωπονική Σχολή ΑΠΘ e-mail: ave@agro.auth.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Προσδιορίσθηκε η ετήσια διακύμανση του βιοδιαθέσιμου φωσφόρου, BioP, σε αμπελώνες με δύο συστήματα καλλιέργειας, οργανικής (OR) και συμβατικής (CR). Ο BioP υπολογίστηκε σαν το άθροισμα του ανόργανου Pi, του οργανικού Po και μικροβιακού Pm φωσφόρου. Ο BioP στη (OR) κυμαίνονταν από 30-40 mg/Kg εδ. P ενώ στη (CR) από 80-120 mg/Kg εδ. P. Στην (OR) η συμμετοχή των Pm και Po στον BioP ήταν περίπου 50%, στη (CR) ο Po και Pm συμμετείχαν κατά 40% τον χειμώνα και την άνοιξη ενώ το καλοκαίρι και το φθινόπωρο ο Po κατά 30%. Η ανοργανοποίηση του P στην (OR) κυμαινόταν από 10-25 mg/Kg εδ. P και στη (CR) από 10-50 mg/Kg εδ. P με ελάχιστη τιμή να παρατηρείται για την (OR) τον χειμώνα ενώ για τη (CR) το φθινόπωρο.

THE SEASONAL VARIATION OF BIO AVAILABLE PHOSPHORUS (BIOP), IN VINEYARDS IN TWO FARMING SYSTEMS - ORGANIC AND CONVENTIONAL

Shimis A. and Pavlatou-Ve A.
Laboratory of Soil Science, Faculty of Agriculture, Aristotle University of Thessaloniki
e-mail: ave@agro.auth.gr

ABSTRACT

The seasonal variation of bioavailable phosphorus, BioP, was determined in vineyards in two farming systems, organic (OR) and conventional (CR). BioP was calculated as the sum of the inorganic Pi, organic Po and microbial Pm phosphorus after incubation. In the organic system (OR), the BioP varied between 30 and 40 mg/Kg εδ. while in the conventional system (CR), it fluctuated between 80 and 120 mg/Kg soil. In the (OR), the participation of Pm and Po in the BioP was almost 50%, while in the (CR), the participation of Pm was 40% in the winter and spring period and for Po was 30% for the summer and winter. In the (OR), the mineralization of P ranged between 10 and 25 mg/Kg soil, while in the (CR) it varied between 10 and 50 mg/Kg soil with observed minimum rate for the (OR), during winter while for the CR in the autumn.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η καθιερωμένη μέθοδος γεωργικής παραγωγής (συμβατική γεωργία) χρησιμοποιεί μεγάλες ποσότητες χημικών λιπασμάτων στοχεύοντας σε μεγαλύτερες αποδόσεις. Η μακρόχρονη όμως εφαρμογή της σε πολλές περιπτώσεις έχει δημιουργήσει προβλήματα και περιβαλλοντικά αδιέξοδα, στοιχεία τα οποία επιβάλλουν την ανάγκη για στροφή σε εναλλακτικές μορφές καλλιέργειας όπως η βιολογική γεωργία. Η χρήση εναλλακτικών μορφών καλλιέργειας έχει σαν αποτέλεσμα τη μείωση της ρύπανσης του εδάφους και των υπόγειων νερών, τη διατήρηση της βιοποικιλότητας και μικρότερη αλλά ταυτόχρονα ορθολογικότερη χρησιμοποίηση των φυσικών πόρων.

Η λίπανση των καλλιεργειών με φωσφόρο (P) είναι αναγκαία αφού αποτελεί ένα από τα κύρια θρεπτικά στοιχεία του εδάφους. Οι μοναδικές πηγές P του εδάφους είναι τα φωσφορικά ορυκτά και η οργανική ουσία του εδάφους. Η ανοργανοποίηση της οργανικής ουσίας από τους μικροοργανισμούς του εδάφους συμβάλλει στην αύξηση της συγκέντρωσης του φωσφόρου στο έδαφος, η οποία εξαρτάται από το είδος της οργανικής ουσίας καθώς και από το ρυθμό ανοργανοποίησής της [5]. Η μικροβιακή βιομάζα του εδάφους είναι και η ίδια μια σπουδαία πηγή διαθέσιμου φωσφόρου [4]. Στην συμβατική γεωργία, ο διαθέσιμος φωσφόρος εκτιμάται με την μέθοδο Olsen, η οποία όμως έχει διαπιστωθεί ότι δεν εκτιμά ικανοποιητικά τον διαθέσιμο P στην βιολογική καλλιέργεια καθώς η συμμετοχή του Pm και Po στο διαθέσιμο P είναι μεγάλη και η μη γνώση τους υποεκτιμά τον διαθέσιμο P [7].

Σκοπός της μελέτης αυτής ήταν να περιγραφεί η εποχιακή διακύμανση του BioP σε αμπελώνες και να συγκριθεί με δύο συστήματα καλλιέργειας, οργανικής-συμβατικής, και να βοηθήσει στην εξαγωγή συμπερασμάτων όσον αφορά τον ολικά διαθέσιμο P (Pi, Pm και Po).

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Επιφανειακά δείγματα εδάφους συλλέχτηκαν τον Μάρτιο, αναγνωριστική δειγματοληψία, και τους μήνες, Απρίλιο (AC,AO), Αύγουστο (KC,KO), Οκτώβριο (ΦC,ΦO) και Δεκέμβριο (XC,XO) από γειτονικούς αμπελώνες στη περιοχή της Ν. Μεσήμβριας του Νομού Θεσσαλονίκης, που καλλιεργούνται με δύο συστήματα καλλιέργειας οργανικής (OR) και συμβατικής (CR).

Τα εδαφικά δείγματα μεταφέρονταν στο εργαστήριο, όπου ακολουθούσε αεροξήρανση και κοσκίνισμα με κόσκινο 2mm. Στη λεπτή γη προσδιορίσθηκαν, (αναγνωριστική δειγματοληψία), τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του εδάφους σύμφωνα με το USDA Agr. Handbook No 60 (1954) (Πιν. 1). Στις άλλες δειγματοληψίες προσδιοριστήκαν, ο ανόργανος φωσφόρος Pi, ο ολικός φωσφόρος Pt, ο μικροβιακός Pm, και ο βιοδιαθέσιμος φωσφόρος BioP. Ο προσδιορισμός του βιοδιαθέσιμου φωσφόρου (BioP), του ανόργανου φωσφόρου (Pi), ολικού φωσφόρου (Pt) και μικροβιακού (Pm), έγιναν όπως προτείνουν οι Thien και Myers (1992). Για κάθε προσδιορισμό έγιναν τρείς επαναλήψεις

Πίνακας 1. Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά των εδαφών

	pH (1:2)H_2O	$CaCO_3$ %	Οργ.ουσ %	ΙΑΚ me/100g	NO_3^- mg/Kg.	N %	P mg/Kg	EC μS/cm
OR	8,17	0,84	0,779	19,8	22,2	0,07	26,3	785
CR	4,81	0	1,494	20,1	100,6	0,132	113,6	2710

Πίνακας 2. Οι τιμές, των Pt_{pre}, Po_{pre}, Pi_{pre} στα αρχικά εδαφικά δείγματα, Pt, Po, Pi μετά την επώαση στα εδαφικά δείγματα και Pm, Pimm, Pmin BioPo και BioP, σε P mg/Kg εδ. του συμβατικού (CR) και του οργανικού (OR) αμπελώνα κατά τη διάρκεια του έτους

	ΑΡΧΙΚΑ			**ΕΠΩΑΣΗ**							
	$P_{t\ pre}$	**Pi_{pre}**	**Po_{pre}**	**P_t**	**Pi**	**Po**	**P_m**	**P_{imm}**	**P_{min}**	**Bio Po**	**Bio P**
ΧC	138,79	71,13a	67,66b	109,30	74,05	35,25	16,22	-2,92	51,47	54,39	125,52
AC	128,67	72,82a	55,85ab	18,73	57,58	21,33	20,21	15,24	41,54	26,31	99,13
KC	113,96	78,39b	35,57a	78,92	73,18	36,29	0	5,21	26,04	20,83	99,22
ΦC	125,83	74,50ab	51,33b	23,04	68,55	13,44	0,71	5,95	14,15	8,20	82,70
ΧO	26,65	19,13a	6,99abc	109,47	20,79	0	11,44	-1,12	9,38	10,51	30,18
AO	33,52	23,96a	9,56b	22,92	12,66	10,38	10,23	11,30	20,61	9,31	33,27
KO	32,39	26,53b	5,86ac	81,99	19,75	3,17	17,08	6,78	20,25	13,47	40,00
ΦO	32,08	25,00a	7,08a	24,07	17,03	7,04	14,00	7,98	21,04	13,07	38,07

a, b, c Δηλώνουν στατιστικές διαφορές σε επίπεδο $P < 0,05$
Ίδια γράμματα δηλώνουν μη στατιστικές διαφορές.

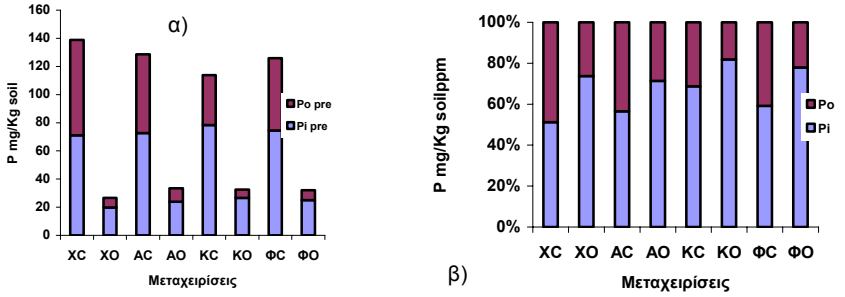
Για τον προσδιορισμό Pm, Pimm, Pmin, BioP και BioPo, τα εδαφικά δείγματα επωάστηκαν για 7 ημέρες σε θερμοκρασία 35^0C για να αυξηθεί η μικροβιακή δραστηριότητα και να επιταχυνθούν οι διαδικασίες δημιουργίας των βιολογικών διαθέσιμων μορφών P [12].

Η στατιστική ανάλυση των δεδομένων έγινε με το κριτήριο ANOVA single factor (One Way) σε επίπεδο πιθανότητας $P < 0,05$.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Στον Πιν.2 παρουσιάζονται οι συγκεντρώσεις των μορφών P σε mg/Kg εδ. (Pt_{pre}, Pi_{pre}, Po_{pre} (πριν από την επώαση), Pi, Po, Pm, Pimm, Pmin, BioP και BioPo) που προσδιορίστηκαν τόσο για την συμβατική καλλιέργεια (CR) όσο και για την οργανική καλλιέργεια (OR).

Στον Πιν. 2 φαίνεται ότι η συγκέντρωση του ολικού φωσφόρου (Pt_{pre}) ήταν υψηλότερη στη συμβατική καλλιέργεια (CR) από ότι στη οργανική καλλιέργεια (OR). Αυτό αναμένετε γιατί οι συμβατικοί αμπελώνες είχαν δεχτεί ανόργανο λίπανση κατά τη διάρκεια του έτους.

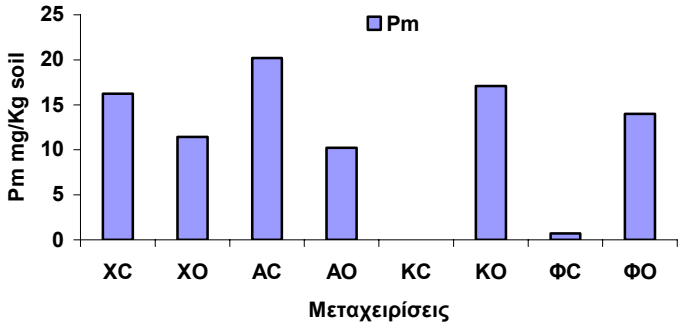


Σχήμα 1. α) Οι αρχικές τιμές σε mg/Kg εδ. P του Po και Pi στα εδάφη των αμπελώνων κατά διάρκεια του έτους. β) το ποσοστό του Po και Pi επί της ολικής τιμής του Pt των εδαφών στους (CR) και (OR) αμπελώνες κατά διάρκεια του έτους.

Στο Σχ. 1(α) και στον Πιν. 2 η συγκέντρωση του ανόργανου Pi_{pre} (P-Olsen) ήταν υψηλότερη στον (CR) αμπελώνα από ότι στονς (OR) και κυμαίνονταν από 71.13-78,39 και 19.67-26,53 mg/Kg εδ. P αντίστοιχα. Στον (CR) και στον (OR) η μεταβολή του κατά τη διάρκεια του έτους ήταν μικρή με σημαντική όμως αύξηση το καλοκαίρι. Οι μέγιστες τιμές του Pi_{pre}, των (CR) και (OR), παρουσιάσθηκαν το καλοκαίρι ενώ οι μικρότερες το χειμώνα. Οι τιμές της συγκέντρωσης του Pi_{pre} τόσο στη (CR) όσο και στην (OR) κάλυπταν τις ανάγκες των αμπελιών κατά τη διάρκεια του έτους [6].

Η συγκέντρωση του οργανικού φωσφόρου Po_{pre} ήταν υψηλότερη στη (CR) από ότι στη (OR), 35,57-67,66 και 5,86-9,56 mg/Kg εδ. P αντίστοιχα. Αυτό συμφωνεί με τα ευρήματα των [2] και [3] που βρήκαν ότι σε (CR) ο ρυθμός αποσύνθεσης της οργανικής ουσίας ήταν μικρότερος από ότι στη (OR).

Στο (CR) η μέγιστη τιμή του Po_{pre} 67,66 mg/Kg εδ. P παρουσιάσθηκε το χειμώνα και η μικρότερη 35,57 mg/Kg εδ. P το καλοκαίρι, η συμμετοχή του Po_{pre} στη ολική τιμή του Pt ήταν αρκετά υψηλή Σχ.1 (β) και κυμαίνονταν από 30-50%. Στην (OR) ο Po_{pre} κυμαίνονταν από 5,86-9,56 mg/Kg εδ. P με μέγιστη τιμή 9,56 mg/Kg εδ. P την άνοιξη και μικρότερη τιμή 5,86 mg/Kg εδ. P το καλοκαίρι. Το ίδιο βρήκαν και οι [11] και οι [9], η δε συμμετοχή του Po_{pre} στο Pt κυμαίνονταν από 20-30%.

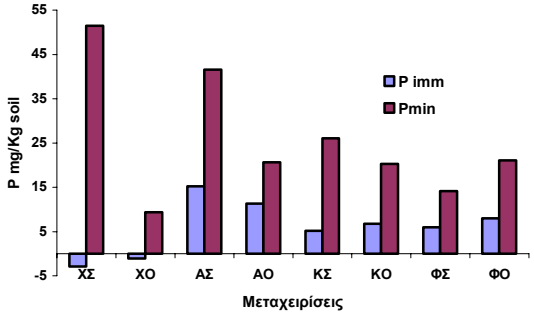


Σχήμα 2. Η συγκέντρωση του μικροβιακού Pm σε mg/Kg εδ. στα δύο συστήματα καλλιέργειας (CR) και (OR) κατά τη διάρκεια του έτους.

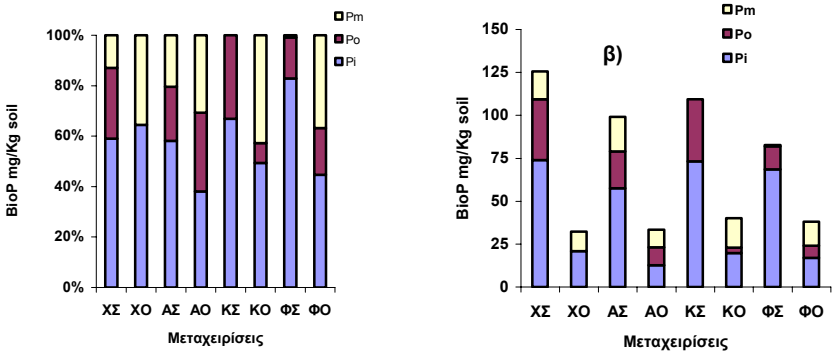
Η συγκέντρωση του μικροβιακού Pm, Σχ. 2, κατά τη διάρκεια του έτους κυμαινόταν από 0-20,21 και 10,71-17,08 mg/Kg εδ. P στον (CR) και (OR) αντίστοιχα. Στον (CR) κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού και του φθινόπωρου η τιμή του Pm είναι σχεδόν μηδενική ενώ το χειμώνα και την άνοιξη περίπου 20 mg/Kg εδ. P. Στον (OR) παραμένει σχεδόν σταθερή κατά τη διάρκεια του έτους περίπου 13 mg/Kg εδ. P, γιατί οι εδαφικές συνθήκες, φυσικές και χημικές ιδιότητες του εδάφους, παραμένουν καλές σε όλη τη διάρκεια του χρόνου για την ανάπτυξη των μικροοργανισμών [10].

Η ακινητοποίηση του P, [12], Σχ. 3, και στα δύο συστήματα καλλιέργειας είχε την ίδια διακύμανση κατά τη διάρκεια του έτους και ήταν μικρότερη από την ανοργανοποίηση. Παρατηρήθηκε μηδενική ακινητοποίηση (αρνητικές τιμές) κατά τη διάρκεια του χειμώνα και αυτό φαίνεται να οφείλεται στο μικρή δράση των μικροοργανισμών λόγω χαμηλών θερμοκρασιών. Οι μεγαλύτερες τιμές ακινητοποίησης περίπου 12 mg/Kg εδ. P παρουσιάστηκαν την άνοιξη και για τα δύο συστήματα καλλιέργειας. Αυτό συμφωνεί με τα ευρήματα του [1] ότι δηλαδή η αζωτούχος λίπανση σε μη ψυχανθή αυξάνει την ακινητοποίηση του P.

Η ανοργανοποίηση του P, [12], Σχ. 3, ήταν μεγαλύτερη στον (CR) και κυμαίνονταν από 15-50 mg/Kg εδ. P από ότι στο (OR) που κυμαίνονταν από 10-20 mg/Kg εδ. P. Στο (CR) η μεγαλύτερη τιμή της παρουσιάστηκε το χειμώνα και η μικρότερη το φθινόπωρο. Στο (OR) η ανοργανοποίηση του φωσφόρου φαίνεται ότι ήταν σταθερή κατά τη βλαστική περίοδο περίπου 20 mg/Kg εδ. P, με σημαντική ελάττωση το χειμώνα (9,4 mg/Kg εδ. P). Αυτό συμφωνεί με τον Pm που παραμένει σταθερός σε όλη τη διάρκεια του έτους. Η μεγαλύτερη ανοργανοποίηση P παρατηρείται κατά τη διάρκεια της εποχιακής ανάπτυξης των φυτών με ταυτόχρονη αύξηση του Pi [8]. Στην μελέτη αυτή φαίνεται να συμβαίνει αυτό μόνο στο (OR) την άνοιξη και το καλοκαίρι που είναι η βλαστική-παραγωγική περίοδος της αμπέλου [6].

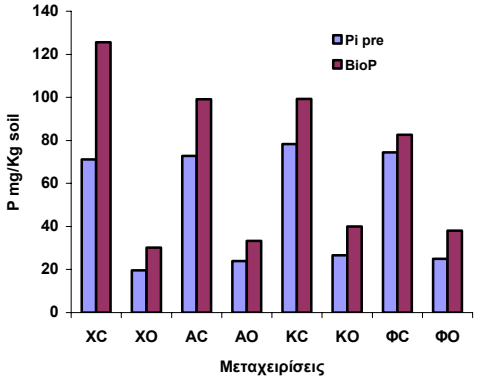


Σχήμα 3. Η ανοργανοποίηση και η ακινητοποίηση P σε mg/Kg εδ., στα δύο συστήματα καλλιέργειας (CR) και (OR) κατά τη διάρκεια του έτους.



Σχήμα 4. α) το ποσοστό του Po, Pm και Pi επί της ολικής τιμής του BioP των εδαφών στους (CR) και (OR) αμπελώνες κατά διάρκεια του έτους. β) η συγκέντρωση του BioP στους (CR) και (OR) αμπελώνες κατά διάρκεια του έτους.

Από το Σχ. 4(β) φαίνεται ο BioP ότι ήταν μεγαλύτερος στον (CR) και κυμαίνονταν από 82,7-125,52 mg/Kg εδ. P από ότι στο (OR) που κυμαίνονταν από 30,18-40,00 mg/Kg εδ. P. Στον (CR), η μέγιστη τιμή του BioP παρατηρήθηκε το χειμώνα ενώ φαίνεται να μεταβάλλεται κατά τη διάρκεια του έτους. Η συμμετοχή του Pi, στην συγκέντρωση του BioP, ήταν περίπου 60-80%, του Po 20% και του Pm 0-20% Σχ. 4(α). Την άνοιξη και το χειμώνα στο (CR) και τα τρία αυτά κλάσματα συμμετέχουν στον BioP, ενώ το καλοκαίρι και το φθινόπωρο μονό ο Pi, και ο Po. Στο (OR), ο BioP φαίνεται ότι δεν μεταβάλλεται κατά τη διάρκεια του έτους Σχ. 4(β). Και τα τρία κλάσματα Pi, Po, και Pm, συμμετείχαν εξίσου στον BioP το φθινόπωρο, την άνοιξη και το καλοκαίρι ενώ το χειμώνα μόνο ο Pm.



Σχήμα 5. Ο βιοδιαθέσιμος P και ο ανόργανος (διαθέσιμος) P σε mg/Kg εδ., στα δύο συστήματα καλλιέργειας (CR) και (OR) κατά τη διάρκεια του έτους.

Από τον Πιν. 2 και το Σχ. 5 φαίνεται ότι ο ανόργανος (διαθέσιμος P) είναι μικρότερος από τον BioP και στις δύο καλλιέργειες. Η διάφορα τους στο (OR) ήταν ίδια κατά τη διάρκεια του έτους, περίπου 15 mg/Kg εδ. P ενώ στον (CR) η διάφορα τους δεν είναι σταθερή και κυμαίνεται από 10-50 mg/Kg εδ. P.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στον (CR) ο Po συμμετείχε στον ολικό φωσφόρο με 30-50%, η ανοργανοποίηση του ήταν μεγαλύτερη το χειμώνα και μικρότερη το φθινόπωρο. Ο μικροβιακός φωσφόρος κυμαινόταν από 0-20 mg/Kg εδ. P κατά τη διάρκεια του έτους. Η μέγιστη τιμή του BioP παρατηρήθηκε το χειμώνα ενώ φαίνεται να μεταβάλλεται κατά τη διάρκεια του έτους. Η συμμετοχή του Pi στον BioP ήταν περίπου 60-80%, του Po 20-30% και του Pm 0-20%, Σχ. 4(α). Την άνοιξη και το χειμώνα και τα τρία αυτά κλάσματα συμμετέχουν στον BioP ενώ το καλοκαίρι και το φθινόπωρο μονό ο Pi και ο Po.

Στην (OR) ο Po συμμετείχε στον ολικό φωσφόρο με 20-30%, η ανοργανοποίηση του ήταν σταθερή κατά τη διάρκεια του έτους, περίπου 20 mg/Kg εδ. P, με εξαίρεση τον χειμώνα που κυμαινόταν στα 9,4 mg/Kg εδ. P. Ο BioP ήταν περίπου 35 mg/Kg εδ. P και δεν μεταβάλλεται σημαντικά κατά τη διάρκεια του έτους ενώ τα τρία κλάσματα Pi, Po και Pm, συμμετέχουν εξίσου στον BioP με 50% και μόνο το χειμώνα η συμμετοχή του Po ήταν μηδενική.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Dalal, R.C., 1977. Soil organic phosphorus. Adv. Agron 29: 85-117
2. Jarecki, M. K., and R. Lal. 2003. Crop management for soil carbon sequestration. Crit. Rev. in Plant Sciences 22: 471-502.
3. Jiao, Y., J. K. Whalen, and W. H. Hendershot. 2006. No-tillage and manure applications increase aggregation and improve nutrient retention in a sandy-loam soil. Geoderma 134: 24-33.
4. Kwabiah, A. B., N. C. Stoskopf, C. A. Palm, and R. P. Voroney. 2003α. Soil P availability as affected by the chemical composition of plant materials: implications for P-limiting agriculture in tropical Africa. Agric. Ecosyst. Environ. 100: 53-61.
5. Mafongoya, P. L., P. Barak, and J. D. Reed. 2000. Carbon, nitrogen and phosphorus mineralization of tree leaves and manure. Biol Fertil Soils 30: 298-305.

6. Νικολάου, Ν. Α. 2001. Θέματα και τεχνικές καλλιέργειας της αμπέλου. Υπηρεσία Δημοσιευμάτων, Α.Π.Θ.
7. Παυλάτου-Βε Αθηνά και Ελένη Κιοσέ-Καμπασακάλη, 2004. Η δυναμική του
8. Φωσφόρου σε δύο συστήματα καλλιέργειας- οργανική και συμβατική- με διαφορετικές αμειψισπορές. Πρακτικά 10ου Πανελληνίου Εδαφολογικού Συνεδρίου, Βόλος σελ. 61-70
9. Perrott KW, Sarathchandra SU, Dow BW (1992) Seasonal and fertilizer effects on the organic cycle and microbial biomass in a hill country soil under pasture. Aust J Soil Res 30: 383-394
10. Scott T. J., Condron M. L. 2003. Dynamics and availability of phosphorus in the rhizosphere of a temperate silvopastoral system. Biol Fertil Soils 39:65-73
11. Stockdale E. A., M. A. Shepherd, S. Fortune, and S. P. Cuttle. 2002. Soil fertility in organic farming systems- fundamentally different? Soil Use and Management 18: 301-308.
12. Tate KR, Speir TW, Ross DJ, Parfitt RL, Whale KN, Cowling JC (1991). Temporal variations in some plant and soil P pools in two pasture soils of widely different P fertility status. Plant and Soil 132: 219-232.
13. Thien S. J. and Myers R. 1992. Determination of bioavailabable phosphorus in soil Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 56(3): 814-818.

(123)

Η ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ ΤΗΣ ΜΙΚΡΟΒΙΑΚΗΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑΣ ΣΕ ΕΝΑΝ ΟΡΥΖΩΝΑ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΗΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΗΤΙΚΗΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥ

Αλαμάνου Μ.[1], Παυλάτου-Βε Α.[1], Ασκονίτης Β.[2], Λίτσκας Β.[2] και Αντωνόπουλος Β.[2]

[1]Εργαστήριο Εδαφολογίας, Γεωπονικής Σχολής ΑΠΘ, e-mail: ave@agro.auth.gr
[2]Εργαστήριο Γεωργικής Υδραυλικής, Γεωπονικής Σχολής ΑΠΘ e-mail: vasanton@agro.auth.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Μελετήθηκε η μικροβιακή δραστηριότητα (όξινη και αλκαλική φωσφατάση) σε ένα εδαφικό προφίλ ενός ορυζώνα στην περιοχή της Σίνδου–Χαλάστρας. Στο επιφανειακό στρώμα (0-25cm) οι συγκεντρώσεις των φωσφατασών ήταν μεγαλύτερες από ότι στα βαθύτερα στρώματα. Παρατηρήθηκε μείωση της συγκέντρωσής τους στο επιφανειακό στρώμα μετά την κατάκλιση του αγρού με νερό, ενώ δεν επηρεάστηκε η συγκέντρωσή τους στα βαθύτερα στρώματα. Οι συγκεντρώσεις των φωσφατασών είχαν στενή σχέση με το pH του εδάφους, τον διαθέσιμο Olsen–P, την οργανική ουσία του εδάφους, τον ανόργανο P, αλλά δεν είχαν σχέση με τον οργανικό P.

VARIATION OF MICROBIAL ACTIVITY IN A PADDY FIELD DURING CULTIVATION

Alamanou M.[1], Pavlatou – Ve A.[1], Aschonitis V.[2], Litskas V.[2] and Antonopoulos V. [2]

[1]Laboratory of Soil Science, Aristotle University of Thessaloniki, Sch. of Agriculture, e-mail: ave@agro.auth.gr
[2]Laboratory of Hydraulics, Aristotle University of Thessaloniki, Sch. of Agriculture, e-mail: vasanton@agro.auth.gr

ABSTRACT

This study examines the variation of microbial activity (acid and alkaline phosphatase) in a paddy field, in a profile of 100cm, during cultivation. The study area is located in the prefecture of Thessaloniki (Sindos–Halastra). The concentrations of phosphatases in the topsoil (25cm) were greater than in the subsoil. Reduction of the concentrations of phosphatases was observed in the topsoil after lie with water, while their concentration was not effected in the subsoil. Phosphatase's concentration was closely related to soil pH, Olsen–P, soil organic matter, inorganic P, but was not related to organic P.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι κύριες πηγές φωσφόρου στο έδαφος είναι τα ανόργανα αδιάλυτα φωσφορικά πετρώματα και η οργανική ουσία. Στον κύκλο του P στο έδαφος σπουδαίο ρόλο παίζουν διάφορες βιολογικές και γεωχημικές διαδικασίες [2]. Ο διαθέσιμος για τα φυτά P είναι υδατοδιαλυτός και προέρχεται από τη διάλυση των ανόργανων συμπλόκων του P στο έδαφος και από την ανοργανοποίηση της οργανικής ουσίας του εδάφους. Εάν η συγκέντρωση του διαθέσιμου P είναι μεγάλη, τότε ένα μέρος του θα προσληφθεί από τα φυτά, αλλά ένα μεγάλο μέρος του θα απομακρυνθεί είτε με τη διήθηση είτε με την απορροή στα υπόγεια και επιφανειακά νερά. Μάλιστα οι Graetz και Nair (1995) βρήκαν ότι περίπου το 80% του ολικού P του Α ορίζοντα διηθήθηκε ή απομακρύνθηκε με απορροή σε εδάφη της Αμερικής. Οι μεγάλες συγκεντρώσεις του P που συσσωρεύονται σε νερά είτε ρυπαίνουν το περιβάλλον είτε είναι υπεύθυνες για την δημιουργία του αυτοτροφισμού [7].

Οι φωσφατάσες είναι το κλειδί της ανοργανοποίησης του Po από την οργανική ουσία, δηλαδή τη μετατροπή του Po μέσω υδρόλυσης σε διαθέσιμο P. Ταξινομούνται σε όξινες και αλκαλικές φωσφατάσες γιατί δρουν σε διαφορετικά pH [8]. Οι φωσφατάσες τα τελευταία χρόνια έχουν μελετηθεί πολύ, αλλά δεν υπάρχουν πληροφορίες για τη σχέση τους με τον διαθέσιμο P (labile P) [12].

Μια καλλιέργεια του Ελλαδικού χώρου που απαιτεί μεγάλα ποσά νερού τα οποία ή διηθούνται ή απορρέουν, είναι η καλλιέργεια του ρυζιού. Η καλλιέργεια του ρυζιού στην Ελλάδα γίνεται κυρίως στην Β. Ελλάδα (Θεσσαλονίκη, Σέρρες και Ημαθία) ενώ τα τελευταία χρόνια έχει διαδοθεί και στην Αιτωλοακαρνανία, Φθιώτιδα, Πιερία, Πέλλα και Ξάνθη. Στην πεδιάδα της Θεσσαλονίκης, οι εκτάσεις που καλύπτουν οι ορυζώνες κυμαίνονται μεταξύ 120-195 km^2. Η λίπανση του ρυζιού παρουσιάζει ιδιαιτερότητα λόγω της συνεχούς κατάκλισης του ορυζώνα με νερό, η οποία έχει ως αποτέλεσμα την έκπλυση των θρεπτικών και τη δημιουργία αναερόβιων συνθηκών. Επιπλέον έκπλυση θρεπτικών υφίσταται και λόγω της συχνής ανανέωσης του νερού.

Σκοπός της εργασίας αυτής ήταν να μελετηθεί η μικροβιακή δραστηριότητα, οι φωσφατάσες, κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου του ρυζιού.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Η υπό μελέτη περιοχή βρίσκεται στην πεδιάδα στο Δέλτα του Αξίου ποταμού κοντά στη Χαλάστρα. Η μελέτη πραγματοποιήθηκε για το χρονικό διάστημα της καλλιεργητικής περιόδου ενός ορυζώνα (Μάιος 2006 – Ιανουάριος 2007).

Για τη μελέτη αυτή έγιναν 9 δειγματοληψίες (1=16/5/2006, 2=14/6/2006, 3=6/7/2006, 4=27/7/2006, 5=21/8/2006, 6=13/9/2006, 7=27/10/2006, 8=12/11/2006, 9=2/1/2007), σε 4 βάθη ενός εδαφικού προφίλ 100cm (0-25cm, 25-50cm, 50-75cm, 75-100cm). Οι παράμετροι που μελετήθηκαν ήταν οι εξής : το pH του εδάφους, η οργανική ουσία του εδάφους, ο διαθέσιμος Olsen–P, ο ανόργανος Pi, ο ολικός Pt, ο οργανικός Po και οι φωσφατάσες.

Προσδιορισμός του ολικού Pt, του ανόργανου Pi και του οργανικού Po έγινε όπως προτείνουν οι Thien και Myers (1992). Ο προσδιορισμός των φωσφατασών (όξινες και αλκαλικές), έγινε όπως προτείνει ο Tabatabai, (1994). Ο διαθέσιμος P προσδιορίστηκε με τη μέθοδο Olsen [6].

Η δειγματοληψία Νο 1 θα θεωρείται σαν μάρτυρας γιατί μετά από αυτή άρχισε η καλλιεργητική περίοδος του ρυζιού. Στις δειγματοληψίες Νο 2, 3, 4 και 5 ο αγρός είχε κατακλυστεί με νερό, στη Νο 6, 7 και 8 το νερό απομακρύνθηκε για να γίνει ο θερισμός και μεταξύ Νο 8 και 9 έγινε η απομάκρυνση της καλαμιάς του ρυζιού με καύση.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Στον Πίν. 2 παρουσιάζονται: η ημερομηνία δειγματοληψίας, το βάθος δειγματοληψίας, οι φωσφατάσες (όξινες και αλκαλικές), το pH, ο διαθέσιμος κατά Olsen-P, ο οργανικός P και η οργανική ουσία. Για λόγους έλλειψης χώρου δεν δημοσιεύονται ο ολικός Pt (Pt=Po+Pi) και ο ανόργανος Pi.

Από το Πιν. 2 και το Σχ.1 φαίνεται ότι στο επιφανειακό στρώμα (0-25 cm) η συγκέντρωση των φωσφατασών ήταν μεγαλύτερη από ότι στα βαθύτερα στρώματα. Αυτό αναμενόταν γιατί στο επιφανειακό στρώμα υπάρχει περισσότερη μικροβιακή δράση. Ακόμη φαίνεται ότι υπερτερούν οι αλκαλικές φωσφατάσες. Αυτό ήταν αναμενόμενο γιατί το pH του εδάφους ήταν ελαφρώς αλκαλικό. Στον μάρτυρα η όξινη και αλκαλική φωσφατάση είχαν τιμές 19,76 και 21,93 PN μg/g εδ αντίστοιχα, ενώ η οργανική ουσία ήταν 0,73% και ο Olsen-P ήταν 30,13 ppm. Στις δειγματοληψίες Νο 2, 3, 4 και 5 παρατηρήθηκε αύξηση των φωσφατασών. Η όξινη φωσφατάση αυξήθηκε από 19,76 σε 21,51-24,68 και η αλκαλική από 21,93 σε 23,97-27,85 PN μg/g εδ. Αυτό οφειλόταν στην αύξηση της οργανικής ουσίας [1], που από 0,73 έγινε 1.38-2,35%. Η αύξησή της οφειλόταν στην αργή αποσύνθεσή της λόγω του αναγωγικού περιβάλλοντος που δημιουργήθηκε με την κατάκλιση του αγρού με νερό. Από τον Πιν. 2 φαίνεται ότι στις αντίστοιχες δειγματοληψίες παρατηρήθηκε ελάττωση του Po, από 8,8 σε 1,07-7,93 ppm P, με ταυτόχρονη αύξηση του Olsen-P από 30,13 σε 27,5-50,1 ppm P . Ένα μέρος της αύξησης του Olsen-P οφειλόταν στην ανοργανοποίηση του Po από τις φωσφατάσες, και ένα άλλο μέρος στη βασική λίπανση που έλαβε ο αγρός στις 18/6/2006 με τη μορφή 20-10-0. Η αύξηση του Olsen-P, λόγω εφαρμογής λιπάσματος σε κατακλιζόμενα, καλλιεργούμενα με ρύζι εδάφη, έχει μελετηθεί από τους Wang κ.ά. (2001). Στις δειγματοληψίες Νο 6, 7 και 8 παρατηρήθηκε μεγαλύτερη αύξηση των φωσφατασών, από 21,51-24,68 σε 25,98-33,97 και από 23,97-27,85 σε 28,97-35,35 PN μg/g εδ για τις όξινες και αλκαλικές αντίστοιχα. Η αύξηση αυτή προήλθε από τον πολλαπλασιασμό των μικροοργανισμών, λόγω μη κατάκλισης των εδαφών με νερό. Αποτέλεσμα ήταν η ελάττωση της οργανικής ουσίας από 2,83% σε 1,81 %, και του οργανικού P από 20,14 σε 4,76 ppm P, με ταυτόχρονη αύξηση του Olsen-P, από 27,52-50,1 σε 40,39-57,44 ppm P. Στην δειγματοληψία Νο 9, μετά από καύση του αχύρου του ρυζιού, παρατηρήθηκε μείωση των φωσφατασών, από 33,97 σε 24,10 και 35,35 σε 26.05 PN μg/g εδ για τις όξινες και αλκαλικές αντίστοιχα, μείωση της οργανικής ουσίας από 1,81 σε 1,54%, μείωση του Po από 4,76 σε 2,96 ppm P και του Olsen-P από 50,72 σε 48,19 ppm P.

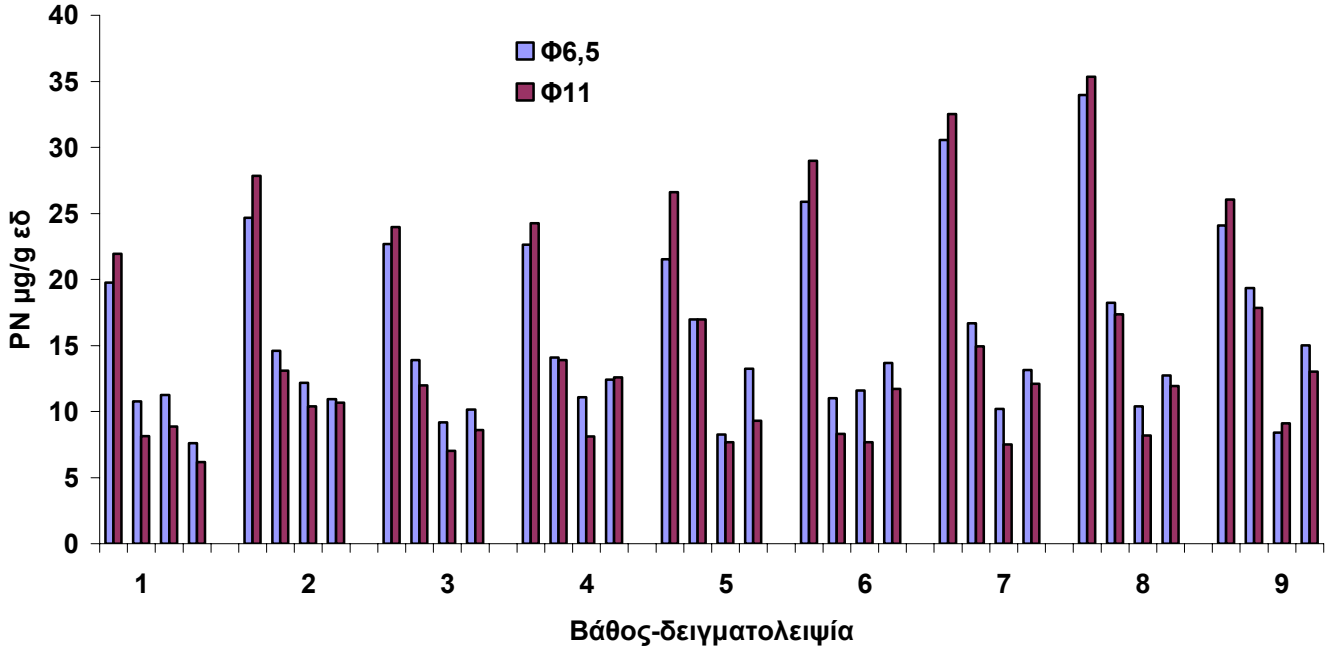
Τα βαθύτερα στρώματα (25-100 cm) του εδαφικού προφίλ φαίνεται από τον Πιν. 2 ότι περιέχουν οργανική ουσία. Η ύπαρξή της πιθανόν να οφειλόταν στη διήθηση των διαλυμένων οργανικών κολλοειδών με αποτέλεσμα η συγκέντρωση του Po να είναι υψηλή. Αυτή η οργανική ουσία ανοργανοποιήθηκε με την βοήθεια των φωσφατασών.

Πιν.2 Το βάθος του εδαφικού προφίλ σε cm, οι συγκεντρώσεις των φωσφατασών σε PN μg/γεδ , το pH, ο κατά Olsen-P σε ppm, ο Po σε ppm και η οργανική ουσία σε % των στρώσεων του εδαφικού προφίλ

Ημ.	Βάθος	Φ 6,5	Φ 11	pH	Olsen-P	Po	Ο.Ο	Ημερ.	Φ 6,5	Φ 11	pH	Olsen-P	Po	Ο.Ο
Δειγ.	cm	---PN μg/γεδ--			----------ppm--------		%	Δειγ.	---PN μg/γεδ--			--------ppm-------		%
	0-25	19,76	21,93	7 ,5	30,13	8,80	0,73		25,98	28,97	7,6	57,44	20,14	2,83
1	25-50	10,76	8,14	8,0	15,89	5,82	0,33	6	11,01	8,30	8,0	16,68	9,76	0,84
	50-75	11,26	8,85	8,0	21,79	2,99	0,21		11,60	7,68	8,0	18,90	12,03	0,94
	75-100	7,60	6,18	8,0	21,25	3,60	0,06		13,68	11,72	7,9	25,62	10,72	0,6
	0-25	24,68	27,85	7,5	40,39	1,07	1,87		30,55	32,51	7,3	40,39	8,54	1,92
2	25-50	14,60	13,10	8,1	18,61	0,98	1,27	7	16,68	14,93	8,0	19,88	2,80	0,86
	50-75	12,18	10,39	8,1	23,63	1,52	1,11		10,18	7,516	8,2	16,47	1,12	0,63
	75-100	10,93	10,68	8,1	21,57	0,30	1,15		13,14	12,10	8,1	23,81	2,57	0,38
	0-25	22,68	23,97	7,7	37,84	7,93	1,38		33,97	35,35	7,4	50,72	4,76	1,81
3	25-50	13,89	11,97	8,0	20,18	0,22	0,81	8	18,22	17,35	7,9	24,01	3,83	0,7
	50-75	9,183	7,01	8,3	18,56	0,22	0,52		10,39	8,18	8,2	16,21	4,17	0,16
	75-100	10,14	8,60	8,1	24,17	0,01	0,99		12,72	11,93	8,2	24,94	6,16	0,29
	0-25	22,64	24,26	7,5	27,52	4,20	2,29		24,10	26,05	7,5	48,19	2,96	1,54
4	25-50	14,10	13,89	7,9	21,69	5,37	1,37	9	19,35	17,85	8,1	26,70	8,12	0,72
	50-75	11,10	8,10	8,1	19,00	2,59	0,6		8,39	9,10	8,2	17,50	6,73	0,1
	75-100	12,43	12,6	7,9	23,60	2,99	0,92		15,01	13,01	8,3	26,96	10,58	0,32
	0-25	21,51	26,6	7,3	50,10	3,06	2,35							
5	25-50	16,97	16,97	7,7	32,07	17,79	1,78							
	50-75	8,266	7,68	8,0	19,78	7,93	0,62							
	75-100	13,23	9,30	7,9	27,01	9,52	1,04							

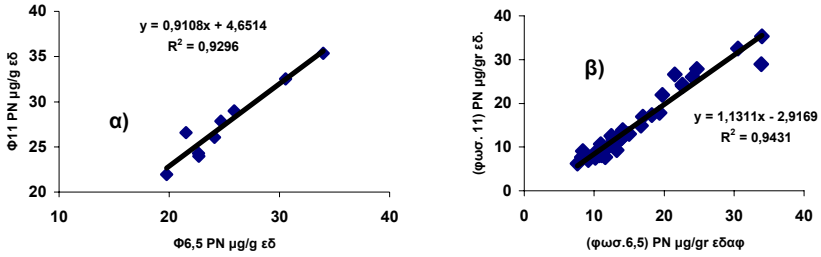
1=16/5/2006, 2=14/6/2006, 3=6/7/2006, 4=27/7/2006, 5=21/8/2006, 6=13/9/2006, 7=27/10/2006, 8=12/11/2006, 9=2/1/2007

Σχ 1. Οι συγκεντρώσεις των φωσφατασών, όξινες και αλκαλικές, σε όλες τις δειγματοληψίες και σε όλες τις στρώσεις



1=16/5/2006, 2=14/6/2006, 3=6/7/2006, 4=27/7/2006, 5=21/8/2006, 6=13/9/2006, 7=27/10/2006, 8=12/11/2006, 9=2/1/2007

Από τον Πιν. 2 και το Σχ.1 η συγκέντρωση των φωσφατασών δεν μεταβάλλονταν ή μεταβάλλονταν ελάχιστα με τις δειγματοληψίες. Φαίνεται ότι η κατάκλιση του εδάφους με νερό ή όχι και η καύση του άχυρου δεν επηρέασαν τις συγκεντρώσεις των φωσφατασών. Υπερτερούσαν όμως οι όξινες φωσφατάσες αν και το pH του εδάφους ήταν ελαφρώς αλκαλικό. Οι όξινες φωσφατάσες στο έδαφος κατά τους Tarafdar και Marschner (1994) παράγονται αποκλειστικά άμεσα από τις ρίζες των φυτών, ενώ οι George κ.ά. (2002) προσθέτουν ότι παράγονται και έμμεσα από την διέγερση της μικροβιακής μάζας (βακτηρίων, μυκήτων, ζυμών και πρωτόζωων), ενώ οι αλκαλικές παράγονται αποκλειστικά από βακτήρια, μύκητες και γαιοσκώληκες. Οι αυξημένες συγκεντρώσεις των όξινων φωσφατασών στα βαθύτερα στρώματα, πιθανόν να οφειλόταν στη δράση των αναερόβιων μικροοργανισμών π.χ. ζύμες. Ο Olsen-P ήταν σε υψηλά επίπεδα σε όλες τις δειγματοληψίες. Αυτό συνέβαινε γιατί μέρος του Olsen-P καθώς και οργανικά κολλοειδή που ανοργανοποιούντο σε διαθέσιμο P από το επιφανειακό στρώμα διηθούντο [5, 12] και λόγω της ανοργανοποίησης του Po των στρώσεων.



Σχ.2 α) Ευθύγραμμη συσχέτιση των φωσφατασών του επιφανειακού στρώματος μεταξύ τους, β) Ευθύγραμμη συσχέτιση των φωσφατασών όλων των στρωμάτων μεταξύ τους

Στον Πιν. 3 παρουσιάζονται όλοι οι συντελεστές προσδιορισμού μεταξύ των φωσφατασών και άλλων εδαφικών παραγόντων. Από τον Πιν. 3 και το Σχ. 2 φαίνεται ότι υπήρχε στενή σχέση μεταξύ των φωσφατασών τόσο στο επιφανειακό στρώμα (r=0.964***) όσο και στο σύνολο τους (r=0.9711***). Η αύξηση της όξινης φωσφατάσης με παράλληλη αύξηση της αλκαλικής πιθανόν να οφειλόταν στο είδος των μικροοργανισμών που έμμεσα παράγουν όξινες φωσφατάσες σε συνεργασία με το ριζικό σύστημα του ρυζιού [3].

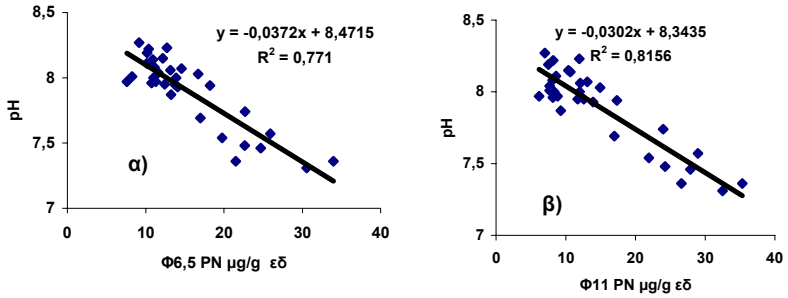
Πιν. 3 Συντελεστών προσδιορισμού των φωσφατασών με εδαφικούς παράγοντες.

	Φ11	pH	Ο.Ουσ.	Olsen-P	Pt	Po	Pi
Φ6,5	0.971***	-0.878***	0.753***	0.888***	0.766***	0.233	0.826***
Φ11		-0.903***	0.784***	0.890***	0.677***	0.213	0.808***
Olsen-P							0.844***

***P< 0.001, **P<0.01, *P< 0.05

Από το Σχ. 3 και Πιν. 3 φαίνεται ότι η όξινη και αλκαλική φωσφατάση είχαν αρνητική σχέση με το pH (r=-0.878*** και r=-0.903*** για την όξινη και αλκαλική φωσφατάση αντίστοιχα). Από το Σχ. 3 (α και β) φαίνεται ότι συγκεντρώσεις των φωσφατασών γύρω στα 10 PN μg/g εδ για όλες τις μετρήσεις και όλα τα βάθη

παρουσίαζαν την μεγαλύτερη συχνότητα σε pH 7,8 - 8,2. Αυτό επιβεβαιώνει την θεωρία των George κ.ά.. 2002, ότι δηλ. οι όξινες φωσφατάσες στο έδαφος δεν παράγονται μόνο άμεσα από τις ρίζες των φυτών, αλλά και έμμεσα από την διέγερση της μικροβιακής μάζας, ανεξαρτήτου pH, πιθανότατα με συνεργασία του ριζικού συστήματος του ρυζιού, ενώ οι αλκαλικές παράγονται μόνο από τους μικροοργανισμούς.



Σχ.3 α) Ευθύγραμμη συσχέτιση των όξινων φωσφατασών με το pH των εδαφικών στρώσεων, β) Ευθύγραμμη συσχέτιση των αλκαλικών φωσφατασών με το pH των εδαφικών στρώσεων

Από τον Πιν. 3 φαίνεται ότι οι φωσφατάσες συνδέονται στενά, με τη οργανική ουσία του εδάφους (r=0,753*** και r=0,784*** για την όξινη και αλκαλική φωσφατάση αντίστοιχα), τον διαθέσιμο Olsen-P (r=0,888*** και r=0,890*** για την όξινη και αλκαλική φωσφατάση αντίστοιχα) και τον ανόργανο P (r=0,766*** και r=0,6676*** για την όξινη και αλκαλική φωσφατάση αντίστοιχα) αλλά δεν συνδέονται με τον Po. Ακόμη βρέθηκε ότι ένα μεγάλο μέρος (περίπου 80%) του Pi ήταν Olsen-P.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Appiah,M.P., Thomas, R.L., 1982. Inositol phosphatise and organic phosphorus contents and phosphatise activity of some Canadian and Ghanaian soils. Canadian Journal of Soil Sience 62, 31-38.
2. Cross, A.F., Schlesinger, W.H., 1995. A literature review and evaluation of the Hedley fractionation: applications to the biogeochemical cycle of soil phosphorus in natural ecosystems. Geoderma64, 197-214.
3. George, T.S., Gregory, P.J., Wood, M., Read, D., Buresh, R.J., 2002. Phosphatase activity and organic acids in the rhizosphere of potential agroforestry species and maize. Soil Biology and Biochemistry 34, 1487-1494.
4. Graetz, D.A., Nair, V.D., 1995. Fate of phosphorus in Florida Spodosols contaminated with cattle manure. Ecological Engineering 5, 163-181.
5. Koopmans, G.F., Chardon, W.J., and McDowell, R.W., 2007. Phosphorus Movement and Speciation in a Sandy Soil Profile after Long – Term Animal Manure Applications. J. Environ. Qual. 36: 305-315.
6. Olsen, S.R., and L.E. Sommers. 1982. Phosphorus. pp 301-312. In A.L. Page et al (eds). Methods of soil analysis Part 2. ASA, Madison, Wisconsin, USA.
7. Sharpley, A.N., Robinson, J.S., Smith, S.J., 1995. Bioavailable phosphorus dynamics in agricultural soils amd effects on water quality. Geoderma. 67, 1-5.

8. Tabatabai, M.A., 1994. Soil enzymes. In: Methods of Soil Analysis, Part 2, Microbiological and Biochemical Properties – SSSA Book Series, No.5. Soil Science of America, Madison, WI, USA 1994 pp. 775-859, Chapter 37.
9. Tarafdar, J.C., Marschner, H., 1994. Phosphatase activity in the rhizosphere and hyphosphere of VA mycorrhizal wheat supplied with inorganic and organic phosphorus. Soil Biology and Biochemistry 26, 387-395.
10. Thien S. J. and Myers R. 1992. Determination of bioavailabable phosphorus in soil SSSAJ 56(3): 814-818.
11. Wang Ke, Zhijian Zhang, Yinmei Zhu, Guanghuo Wang, Danchao Shi, Peter Christie, 2001. Surface water phosphorus dynamics in rice field receiving fertiliser and manure phosphorus. Chemosphere 42, 209-214.
12. Yu, S., He, Z.L., Stoffella, P.J., Calvert, D.V., Yang, X.E., Banks, D.J., Baligar, V.C., 2006. Surface runoff phosphorus (P) loss in relation to phosphatase activity and soil P fractions in Florida sandy soils under citrus production. Soil Biology and Biochemistry 38, 619-628.

(156)

Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΣΤΗ ΣΥΜΠΙΕΣΤΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΣΤΗΝ ΤΑΣΗ ΠΡΟΣΥΜΠΙΕΣΗΣ ΕΔΑΦΩΝ ALFISOL ΚΑΙ VERTISOL

Κ. Π. Παναγιωτόπουλος και Γ. Τσολάκη
Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Γεωπονική Σχολή, Εργαστήριο Εδαφολογίας, 541 24 Θεσσαλονίκη, kpp@agro.auth.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός αυτής της εργασίας ήταν η μελέτη του ρόλου ορισμένων ιδιοτήτων και της υγρασίας στη συμπιεστότητα και στην τάση προσυμπίεσης εδαφών Alfisol και Vertisol. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι γενικά, η συμπιεστότητα αυξανόταν με αύξηση της περιεκτικότητας των εδαφών σε άργιλο ή με μείωση της φαινομενικής πυκνότητας. Επίσης, βρέθηκε θετική σχέση μεταξύ της τάσης προσυμπίεσης και της περιεκτικότητας των εδαφών σε άργιλο ή της φαινομενικής πυκνότητας. Όμως, καθοριστικός παράγων επηρεασμού της συμπιεστότητας και της τάσης προσυμπίεσης ήταν η εδαφική υγρασία.

THE INFLUENCE OF WATER CONTENT ON COMPRESSIBILITY AND PRE-COMPRESSION STRESS OF ALFISOL AND VERTISOL

K. P. Panayiotopoulos and G. Tsolaki
Aristotle University of Thessaloniki, Faculty of Agriculture, Laboratory of Soil Science, 541 24 Thessaloniki, Greece, kpp@agro.auth.gr

ABSTRACT

This work aims at evaluating compressibility and pre-compression stress which determine mechanical behavior of agricultural soils under given conditions.

The results showed that generally, compressibility was increased with increasing clay content or decreasing bulk density. It was also found a positive relationship between pre-compression stress and clay content or bulk density. However, water content was the dominant factor affecting both compressibility and pre-compression stress.

1. ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ

Η συμπύκνωση των γεωργικών εδαφών έχει αρνητικές επιδράσεις σε εδαφικές ιδιότητες (ικανότητα συγκράτησης νερού, κίνηση νερού και αέρα και θερμικές ιδιότητες), στη βιολογική δραστηριότητα του εδάφους και στο ρυθμό ανάπτυξης του ριζικού συστήματος των φυτών. Η πρόληψη της συμπύκνωσης δεν είναι ίσως δυνατή χωρίς προηγούμενη μελέτη των μεταβολών της συμπιεστότητας και της τάσης προσυμπίεσης με την υγρασία. Με τον όρο συμπιεστότητα εννοείται η ευκολία με την οποία ένα έδαφος μπορεί να συμπυκνωθεί και ποσοτικά υπολογίζεται ως η κλίση της καμπύλης λογάριθμος τάσης συμπίεσης- φαινομενική πυκνότητα [1].

Αν το έδαφος δεν έχει δεχτεί παλαιότερα κάποια τάση συμπίεσης τότε η σχέση του λογαρίθμου της τάσης και της φαινομενικής πυκνότητας είναι γραμμική [2]. Όταν όμως το έδαφος είναι ήδη ως ένα βαθμό συμπυκνωμένο, τότε η προηγούμενη σχέση παριστάνεται με μία καμπύλη μη σταθερής κλίσης. Το σημείο στο οποίο η κλίση μεταβάλλεται απότομα αντιστοιχεί στην τάση προσυμπίεσης. Δηλαδή, η τάση προσυμπίεσης είναι η μέγιστη τάση που μπορεί να δεχτεί ένα έδαφος χωρίς η παραμόρφωσή του να γίνει πλαστική και μη αναστρέψιμη [3].

Ενώ σε διεθνές επίπεδο η έρευνα που αφορά τη συμπιεστότητα και την τάση προσυμπίεσης έχει προχωρήσει σε αρκετά ικανοποιητικό βαθμό, στην Ελλάδα δεν υπάρχουν σχεδόν καθόλου δεδομένα που να αφορούν αυτές τις δύο παραμέτρους της συμπύκνωσης των γεωργικών εδαφών. Έτσι, σκοπός αυτής της εργασίας ήταν ο προσδιορισμός της συμπιεστότητας και της τάσης προσυμπίεσης και η μελέτη των μεταβολών τους με την υγρασία.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Για την επίτευξη του στόχου αυτής της εργασίας χρησιμοποιήθηκαν αδιατάρακτα εδαφικά δείγματα που λήφθηκαν με τη βοήθεια κυλίνδρων από ανοξείδωτο χάλυβα ύψους 4,1 και διαμέτρου 5,6 cm. Τα αδιατάρακτα δείγματα πάρθηκαν από την Κερασιά Θεσσαλονίκης (Alfisol) και τη Γαλάτιστα (Alfisol) και τον Άγιο Παύλο Χαλκιδικής (Vertisol) και από βάθη 0 – 5 και 30 – 35 cm. Σε διαταραγμένα εδαφικά δείγματα που λήφθηκαν από τα ίδια σημεία, μετά από αεροξήρανση, λεοτρίβηση και κοσκίνισμα (2 mm) προσδιορίστηκαν ορισμένες βασικές φυσικές και χημικές ιδιότητες των εδαφών (Πίνακας 1) [4, 5].

Από τη βάση κάθε αδιατάρακτου δείγματος αφαιρέθηκε μια ποσότητα εδάφους πάχους 2-3 mm και στη θέση του προστέθηκε μίγμα γύψου / νερού σε αναλογία 6 / 5. Η γύψος μετά τη στερεοποίησή της αποτελούσε μια σταθερή βάση συγκράτησης του δείγματος μέσα στο μεταλλικό κύλινδρο αλλά ταυτόχρονα επέτρεπε την κίνηση νερού.

Τα δείγματα κορέσθηκαν σε κενό με διάλυμα 0,005 M $CaSO_4.2H_2O$ για να παρεμποδιστεί η διασπορά της αργίλου και αφέθηκαν για διαστήματα από 12 ώρες μέχρι και 19 ημέρες. Μετά από αυτή την εξισορρόπηση η υγρασία τους κάλυπτε σχεδόν όλο το εύρος από περίπου τον κορεσμό μέχρι την αεροξήρανση.

Μετά την επίτευξη της επιθυμητής υγρασίας τα δείγματα συμπιεζόταν, με τη μέθοδο της μονοαξονικής φόρτισης, προοδευτικά με τάσεις συμπίεσης από 0 μέχρι και τουλάχιστον 1000 kPa και με ρυθμό παραμόρφωσης 1,52 mm min^{-1}. Για τη συμπίεση των δειγμάτων χρησιμοποιήθηκε η συσκευή δοκιμής συμπίεσης της Wykeham Farrance Ltd (UK). Κατά τη διάρκεια της συμπίεσης ήταν δυνατή η καταγραφή και αποθήκευση σε Η/Υ της τάσης συμπίεσης και της παραμόρφωσης (=μείωσης του ύψους) του δείγματος σε προεπιλεγμένα χρονικά διαστήματα. Από κάθε έδαφος και βάθος χρησιμοποιήθηκαν περισσότερα από 20 δείγματα διαφορετικής υγρασίας.

Για τον υπολογισμό της τάσης προσυμπίεσης και της συμπιεστότητας των εδαφικών δειγμάτων διαφορετικής υγρασίας, έγιναν διαγράμματα τάσης – παραμόρφωσης και υπολογίστηκαν οι εξισώσεις που περιγράφουν το ευθύγραμμο τμήμα της καμπύλης. Στις εξισώσεις συμμεταβολής (της μορφής y=a+bx), ανεξάρτητη μεταβλητή ήταν η τάση συμπίεσης που εφαρμόστηκε στα εδαφικά δείγματα ενώ η παραμόρφωση που υπέστησαν τα δείγματα αποτελούσε την εξαρτημένη μεταβλητή. Η συμπιεστότητα υπολογίστηκε ως η κλίση αυτών των καμπυλών. Η τάση προσυμπίεσης υπολογίστηκε από τις ίδιες εξισώσεις και για παραμόρφωση ίση με 0,025 mm/mm αρχικού ύψους του δείγματος [6].

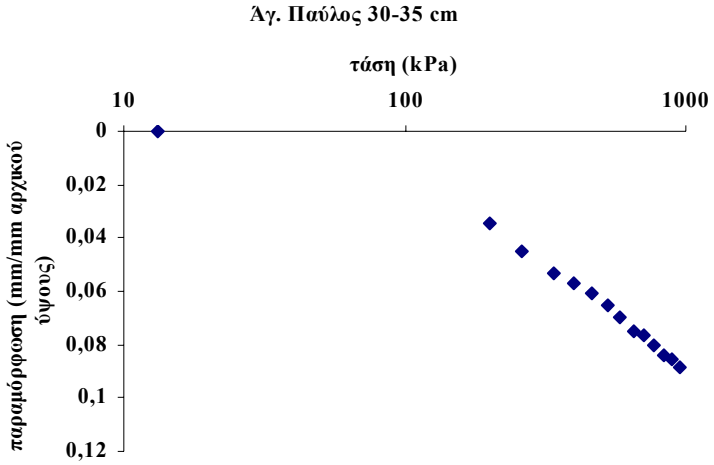
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Από τα αποτελέσματα του Πίνακα 1 αξίζει να σημειωθεί η πολύ μικρή περιεκτικότητα σε άργιλο του εδάφους της Γαλάτιστας και η αυξημένη περιεκτικότητα του εδάφους του Αγ. Παύλου σε σμεκτίτη. Στο Σχήμα 1 δίνεται γραφικά η σχέση τάσης συμπίεσης και παραμόρφωσης ενδεικτικά για ένα δείγμα.

Πίνακας 1. Ορισμένες βασικές φυσικές και χημικές ιδιότητες των εδαφών που χρησιμοποιήθηκαν

Έδαφος	Αγ. Παύλος		Γαλάτιστα		Κερασιά	
Βάθος, cm	0-5	30-35	0-5	30-35	0-5	30-35
Άμμος (%)	44,1	43,7	68,5	63,9	58,5	50,5
Ιλύς (%)	26,2	21,7	19,1	21,8	17,8	15,9
Άργιλος (%)	29,7	34,6	12,4	14,3	23,7	33,6
Κοκκομετρική σύσταση	αργιλοπηλώδες		αμμοπηλώδες		αμμοαργιλοπηλώδες	
Φαινομενική πυκνότητα (Mg m^{-3})	1,20	1,40	1,43	1,37	1,27	1,44
pH	7,75	7,93	5,17	6,4	6,5	7,38
$CaCO_3$ (%)	0,40	0,35	-	-	-	-
Οργανική ουσία (%)	2,68	1,88	1,61	1,47	3,63	1,34
Ηλεκτρική αγωγιμότητα (mS/cm)	0,72	0,49	0,31	0,18	0,97	0,32
Ορυκτολογική σύσταση αργίλου, %						
Ιλλίτης	≈ 20		≈ 80		≈ 70	
Σμεκτίτης	≈ 50		-		≈ 20	
Καολινίτης	≈ 20		≈ 10		≈ 10	
Βερμικουλίτης	≈ 10		≈ 10		-	

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η συμπιεστότητα διαφέρει μεταξύ των εδαφών αλλά και των βαθών του ίδιου εδάφους. Συγκεκριμένα βρέθηκε ότι η μέση συμπιεστότητα των επιφανειακών δειγμάτων ήταν μεγαλύτερη στο έδαφος του Αγ. Παύλου (= 0,0734



Σχήμα 1: Τυπικό διάγραμμα τάσης συμπίεσης – παραμόρφωσης (έδαφος Αγ. Παύλου, βάθος 30-35 cm, αρχική υγρασία 0,074 g/g).

kPa^{-1}), ακολουθούσε το έδαφος της Κερασιάς (= 0,0704 kPa^{-1}) και είχε μικρότερη τιμή στο έδαφος της Γαλάτιστας(= 0,054 kPa^{-1}). Δηλαδή, η μέση συμπιεστότητα βρέθηκε να αυξάνει με την περιεκτικότητα του εδάφους σε άργιλο και να μειώνεται με την αύξηση της φαινομενικής πυκνότητας (Πίνακας 1).

Τα δεδομένα συμπιεστότητας και υγρασίας για όλα τα εδάφη και βάθη που χρησιμοποιήθηκαν φαίνεται να προσαρμόζονται καλύτερα σε εξισώσεις συμμεταβολής παραβολικής μορφής ($y=a+bx+cx^2$). Αυτό σημαίνει ότι η συμπιεστότητα, αυξάνει με την αύξηση της υγρασίας μέχρι κάποιο όριο και μετά μειώνεται (Σχήμα 2).

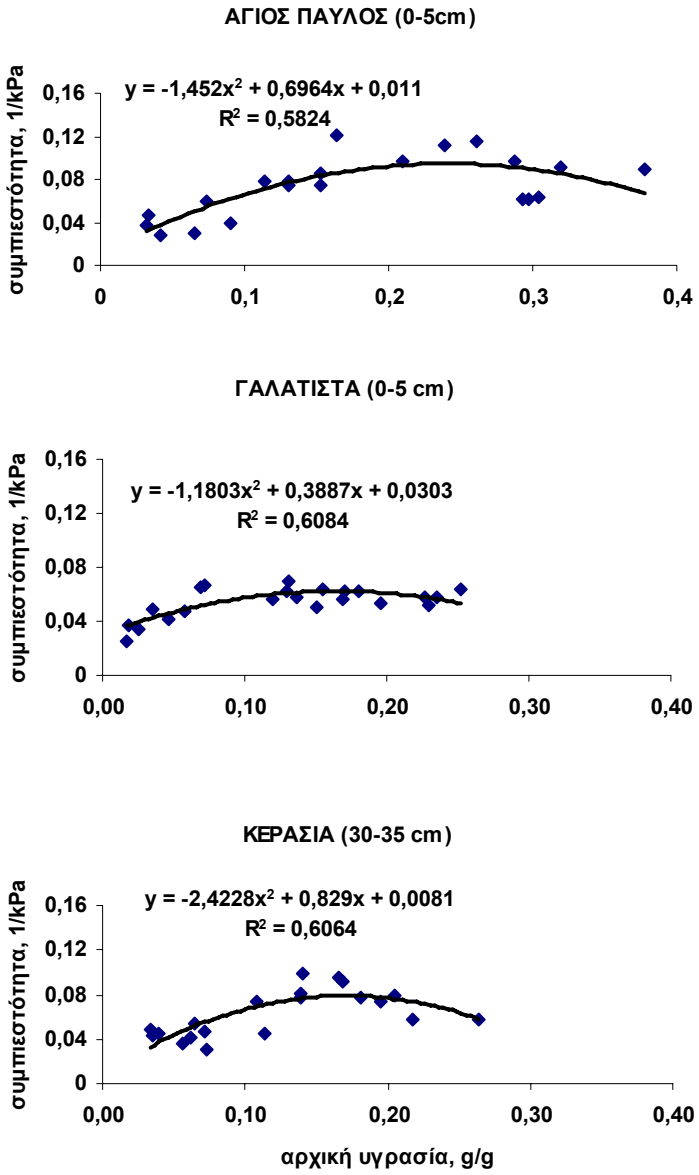
Η κατ' αρχήν μη αναμενόμενη αυτή σχέση συμπιεστότητας – υγρασίας μπορεί να αποδοθεί στους ακόλουθους λόγους:

α) όταν το νερό, που είναι ασυμπίεστο, καλύπτει σημαντικό ποσοστό του πορώδους διαστήματος, συγκρατείται ισχυρά μέσα στους πόρους, οι οποίοι λόγω συμπύκνωσης έχουν μικρότερη ακτίνα, και δεν απομακρύνεται. Επομένως, η μείωση του όγκου των δειγμάτων, και φυσικά του όγκου των πόρων, γίνεται δυσκολότερα δηλαδή και η συμπιεστότητα μειώνεται

β) οι απωστικές δυνάμεις μεταξύ τεμαχιδίων αργίλου που αυξάνουν προοδευτικά κατά τη σταδιακή προσέγγιση των τεμαχιδίων λόγω συμπύκνωσης, αντιστέκονται στην περαιτέρω προσέγγιση

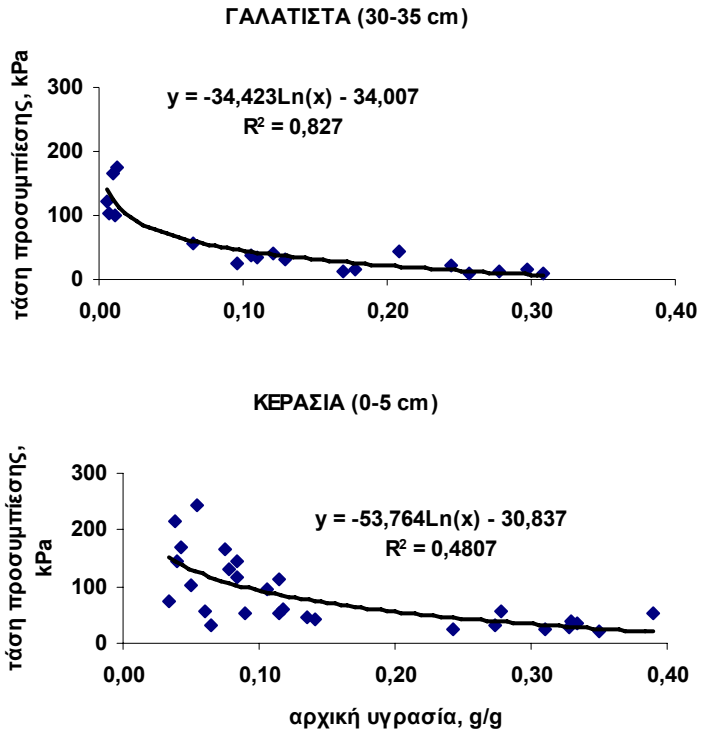
γ) είναι φυσικό, οι ανωτέρω λόγοι (α) και (β) να εμφανίζονται σε εντονότερο βαθμό όταν αυξάνει η φαινομενική πυκνότητα, η περιεκτικότητα των εδαφών σε άργιλο και όταν υπάρχει αυξημένη παρουσία ορυκτών με εκτατό κρυσταλλικό πλέγμα.

Όσον αφορά την τάση προσυμπίεσης, συγκρίσεις των ίδιων βαθών έδειξαν ότι στο επιφανειακό στρώμα (0 – 5 cm) δε βρέθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές ($p<0,05$) της τάσης προσυμπίεσης μεταξύ των τριών εδαφών. Αντίθετα για το βάθος 30 – 35 cm, οι διαφορές μεταξύ του εδάφους της Γαλάτιστας (54,44 kPa) και καθενός από τα άλλα δύο εδάφη (Άγιος Παύλος = 108,99 kPa και Κερασιά = 97,88 kPa) ήταν στατιστικά σημαντικές ($p<0,05$). Δηλαδή, η μέση τάση προσυμπίεσης, όπως αναφέρθηκε και για τη μέση συμπιεστότητα, αυξάνει με την περιεκτικότητα του εδάφους σε άργιλο και μειώνεται με τη φαινομενική πυκνότητα.



Σχήμα 2. Σχέση συμπιεστότητας-αρχικής εδαφικής υγρασίας

Οι μεταβολές της τάσης προσυμπίεσης με την υγρασία, για δύο βάθη των εδαφών που μελετήθηκαν δίνονται στο Σχήμα 3.



Σχήμα 3. Σχέση τάσης προσυμπίεσης και υγρασίας σε διαφορετικά βάθη δύο εδαφών.

Από το Σχήμα 3 φαίνεται ότι, η σχέση τάσης προσυμπίεσης – υγρασίας είναι λογαριθμικής μορφής. Από καθαρά θεωρητική-φυσική άποψη, η τάση προσυμπίεσης αναμένεται να μειώνεται λογαριθμικά όταν αυξάνει η αρχική υγρασία των εδαφικών δειγμάτων. Αυτό πρέπει να συμβαίνει καθώς ο ρόλος του νερού σε αυτή την περίπτωση οφείλεται στις ελκτικές δυνάμεις (μύζηση) που αναπτύσσονται μεταξύ των στερεών τεμαχιδίων και οι οποίες αντιστέκονται στην παραμόρφωση του εδάφους κατά τη συμπίεση. Παρόμοια σχέση τάσης προσυμπίεσης και εδαφικής υγρασίας έχει αναφερθεί και από άλλους ερευνητές [2].

Σε εδάφη υψηλής περιεκτικότητας σε άργιλο στην οποία επικρατούν ορυκτά εκτατού κρυσταλλικού πλέγματος, μεταβολές της υγρασίας έχουν ως αποτέλεσμα μεταβολές της πίεσης διόγκωσης και της φαινομενικής πυκνότητας. Επομένως, σε τέτοια εδάφη η υγρασία εκτός από άμεση έχει και έμμεση επίδραση στην τάση προσυμπίεσης και στη συμπιεστότητα.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα ευρήματα αυτής της εργασίας συνοψίζονται στα ακόλουθα συμπεράσματα:

1) το έδαφος της Γαλάτιστας είχε τη μικρότερη συμπιεστότητα από τα εδάφη της Κερασιάς και του Αγ. Παύλου. Επίσης, μικρότερη συμπιεστότητα βρέθηκε στα υποεπιφανειακά σε σύγκριση με τα επιφανειακά δείγματα όλων των εδαφών

2) η συμπιεστότητα αυξανόταν μέχρι μια οριακή τιμή υγρασίας και μετά ακολουθούσε πτωτική πορεία. Αυτή η οριακή τιμή υγρασίας φαίνεται να εξαρτάται από την περιεκτικότητα των εδαφών σε άργιλο και την ορυκτολογία της αργίλου

3) η τάση προσυμπίεσης αυξανόταν κατά τη σειρά Γαλάτιστα < Κερασιά < Άγιος Παύλος

4) σε κάθε περίπτωση η τάση προσυμπίεσης μειωνόταν με την αύξηση της υγρασίας. Η σχέση τάση προσυμπίεσης-υγρασία φαίνεται να καθορίζεται από την κοκκομετρική σύσταση των εδαφών και την ορυκτολογία της αργίλου

5) η περιεκτικότητα σε άργιλο και η ορυκτολογική σύσταση της αργίλου φαίνεται να παίζουν καθοριστικό στη μηχανική συμπεριφορά των εδαφών.

5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Παναγιωτόπουλος, Κ.Π., 2006. *Γεωργική Εδαφομηχανική*, Πανεπιστημιακές Παραδόσεις, Υπηρεσία Δημοσιευμάτων ΑΠΘ, σελ. 89-92.
2. Mosaddeghi, M.R., Hemmat, A., Hajabbasi, M.A., Alexandrou, A., 2003. Pre-compression stress and its relation with the physical and mechanical properties of a structurally unstable soil in central Iran. *Soil and Tillage Research* 70, 53-64.
3. Horn R., Lebert M., 1994. Soil compactibility and compressibility. In: Soane B. D., van Ouwerkerk C., *Soil Compaction in crop production*, Elsevier, Amsterdam, 45-69.
4. Sparks, D.L. *et al*. (eds) 1996. Methods of Soil Analysis. Part 3, Chemical Methods. Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin.
5. Campbell, G.S. *et al.* (eds) 2002. Methods of Soil Analysis. Part 4, Physical Methods. Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin.
6. Arvidsson, J. and Keller, T., 2004. Soil precompression stress. I. A survey of Swedish arable soils. Soil and Tillage Research 77, 85-95.

Ενότητα 5:

Αγρομετεωρολογία

(142)

ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΗΣ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ, ΜΕΣΩ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ

Α. Άνθης[1], Ι. Βαφειάδης[2]

[1] ΕΜΥ, Περιφερειακό Μετεωρολογικό Κέντρο Μακεδονίας. Διεθνής Αερολιμένας Μακεδονία Θεσσαλονίκης, Τ.Κ. ΒΣΤ 903, e-mail: ananthis@otenet.gr

[2] ΕΜΥ, Περιφερειακό Μετεωρολογικό Κέντρο Μακεδονίας. Διεθνής Αερολιμένας Μακεδονία Θεσσαλονίκης, Τ.Κ. ΒΣΤ 903, e-mail: vafiadis_john@yahoo.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Με αφορμή τις διεθνείς ανακοινώσεις για την Παγκόσμια Μεταβολή του Κλίματος, επιχειρήθηκε η διερεύνηση της κλιματικής μεταβολής σε τοπικό επίπεδο, για την περιοχή της Θεσσαλονίκης, μελετώντας τα δεδομένα του Μετεωρολογικού Σταθμού Επιφανείας του αεροδρομίου Μακεδονία της ΕΜΥ. Στη μελέτη εξετάστηκε η συμπεριφορά της θερμοκρασίας, η οποία θεωρείται αντιπροσωπευτική μεταβλητή που μπορεί να φανερώσει την ύπαρξη κλιματικής μεταβολής.

Μετά από τη στατιστική επεξεργασία της ημερήσιας θερμοκρασίας του αεροδρομίου για τα έτη 1959 έως 2006, προκύπτει: (1) άνοδος της μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας με ρυθμό 1,04°C/100έτη. (2) πτώση των μέγιστων τιμών θερμοκρασιών με ρυθμό 0,8°C/100έτη. (3) Σημαντική άνοδος των ελαχίστων τιμών, με ρυθμό ανόδου 5,4°C/100έτη.

CLIMATIC CHANGE OF THESSALONIKI, VIA TEMPERATURE STATISTICAL PROCESSING

A. Anthis[1], J. Vafiadis[2]

[1] Hellenic National Meteorological Service, Regional Meteorological Centre Macedonia.International Airport Macedonia Thessaloniki, T.K. ΒΣΤ 903, email: ananthis@otenet.gr

[2] Hellenic National Meteorological Service, Regional Meteorological Centre Macedonia. International Airport Macedonia Thessaloniki, T.K. ΒΣΤ 903, email: vafiadis_john@yahoo.gr

ABSTRACT

Following the international statements on the World Change of Climate, an attempted was made for the investigation of climatic change in a local level, especially for the region of Thessalonica, studying meteorological data from the Surface Weather Station of the airport Macedonia. In the study, the behaviour of temperature is examined, which is considered representative variable that can reveal the existence of climatic change. After the statistical processing of the daily temperatures for the years 1959 - 2006, the following results are found: (1) medium monthly temperature rising, with a rate of 1,04 °C/100 years. (2) highest temperatures falling, with a rate of 0,8 °C/100 years. (3) minimum temperature significant rising, with a rate of 5,4 °C/100 years.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σύμφωνα με τις εκθέσεις του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Περιβάλλοντος (European Environment Agency .Βλέπε: http://reports.eea.eu.int/state_of_environment_report_2005_1/) και της Επιτροπής Κλιματολογίας του Παγκόσμιου Μετεωρολογικού Οργανισμού (WMO Commission of Climatology. Βλέπε: http://www.clivar.org/organization/etccd), η θερμοκρασία του πλανήτη σε παγκόσμιο επίπεδο αυξάνει.

Σε μελέτη της χρονοσειράς των επιφανειακών μετρήσεων θερμοκρασίας αέρα του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών (Φούντα κ.ά., 2002) προκύπτει αύξηση της μέσης θερμοκρασίας, καθώς και αύξηση της συχνότητας εμφάνισης μέγιστων ημερήσιων θερμοκρασιών για την Αθήνα.

Με αφορμή τις παραπάνω εκθέσεις, επιχειρήθηκε η διερεύνηση της κλιματικής μεταβολής σε τοπικό επίπεδο, για την περιοχή της Θεσσαλονίκης, μελετώντας τα δεδομένα του Μετεωρολογικού Σταθμού Επιφανείας του αεροδρομίου Μίκρας.

2. ΔΕΔΟΜΕΝΑ - ΑΝΑΛΥΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ

Τα δεδομένα θερμοκρασίας προέρχονται από το Μετεωρολογικό Σταθμό Επιφανείας του αεροδρομίου Μίκρας και έχουν καταγραφεί τα τελευταία 48 χρόνια (1959 έως το 2006).

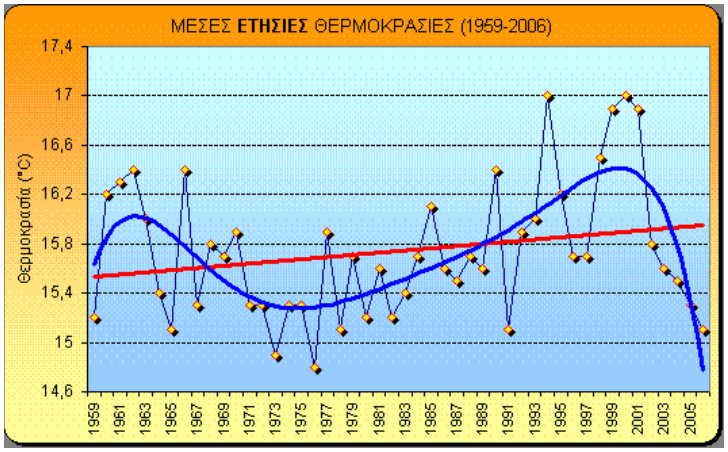
Τα αποτελέσματα της επεξεργασίας θεωρούνται ιδιαιτέρως σημαντικά, αφενός γιατί η χρονοσειρά των δεδομένων είναι συνεχής και αφετέρου γιατί τα στοιχεία προέρχονται από μια περιοχή, η χρήση της οποίας δεν έχει αλλάξει.

Μελετήθηκε η διακύμανση των μέσων ετήσιων και μέσων μηνιαίων τιμών της θερμοκρασίας, με σκοπό να διαφανούν τόσο οι μικρότερες περίοδοι ανόδου ή πτώσης της θερμοκρασίας, όσο και η γενικότερη τάση που παρουσιάζει αυτή η μεταβλητή στα τελευταία 48 έτη. Η επεξεργασία των δεδομένων έγινε χρησιμοποιώντας την αυτόματη ανάλυση του προγράμματος EXCEL.

Στην συνέχεια έγινε σύγκριση της διακύμανση των τιμών κατά την χειμερινή και θερινή περίοδο, ενώ εξετάσθηκαν και οι χρονοσειρές των ελάχιστων και μέγιστων τιμών.

2.1 Μέσες ετήσιες τιμές θερμοκρασίας

Από τις μέσες ετήσιες τιμές αποκαλύπτεται η όλη διακύμανση της θερμοκρασίας. Παρατηρούμε (Σχήμα 1) πως κατά την διάρκεια όλων αυτών των ετών, υπάρχουν μικρότερες χρονικές περίοδοι ταλάντωσης κατά τις οποίες η θερμοκρασία παρουσιάζει ανόδους αλλά και πτώσεις των τιμών.



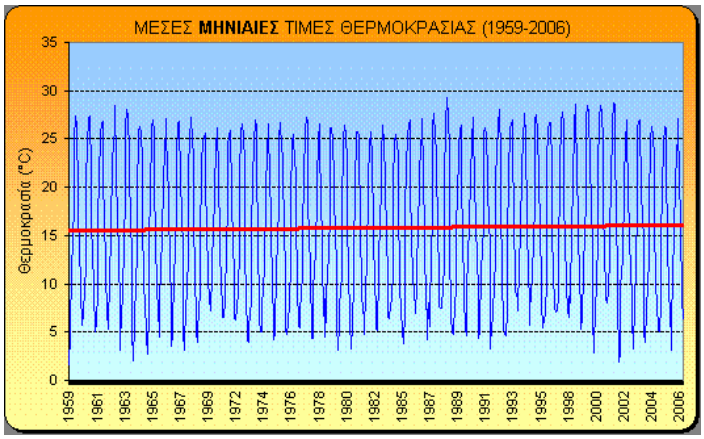
Σχήμα 1. Μέση ετήσια θερμοκρασία, γραμμική τάση (κόκκινη γραμμή) και κινούμενος μέσος όρος (μπλε γραμμή) Θεσσαλονίκης (1959 – 2006).

Από το 1962 έως το 1975 (14 έτη) παρατηρείται συνεχής πτώση στις μέσες ετήσιες κατά 0,7°C (Κινούμενος Μέσος Όρος από τους 16°C στους 15,3°C), με ρυθμό πτώσης 5°C/100έτη. Από το 1975 έως το 2000 (26 χρόνια) παρατηρείται άνοδος κατά 1,1°C (Κινούμενος Μέσος Όρος από τους 15,3°C στους 16,4°C) με ρυθμό ανόδου 4,2°C/100έτη. Τέλος, από το 2000 έως το 2006 (7 χρόνια) παρατηρείται εκ νέου πτώση στις μέσες ετήσιες τιμές.

Πάντως, ενώ υπάρχουν ταλαντώσεις ανόδου και καθόδου των τιμών θερμοκρασίας στα 48 χρόνια, σύμφωνα με τον κινούμενο μέσο όρο, αυτές πρέπει να θεωρούνται μικροταλαντώσεις οι οποίες βρίσκονται μέσα σε μια μεγαλύτερη χρονική ταλάντωση που τελικά είναι ανοδική, με ρυθμό ανόδου 1,04°C/100έτη (Σχήμα 1, γραμμική τάση).

2.2 Μέσες μηνιαίες τιμές θερμοκρασίας

Η μέση θερμοκρασία περιοχής, όπως προκύπτει από την ανάλυση, είναι 15,7°C. Εξετάζοντας αν η θερμοκρασία παρουσιάζει πτώση ή άνοδο, αποκαλύπτεται πως από το 1959 έως και το 2006 η γραμμική τάση είναι ανοδική με ρυθμό ανόδου 1,04°C/100έτη (Σχήμα 2, γραμμική τάση).



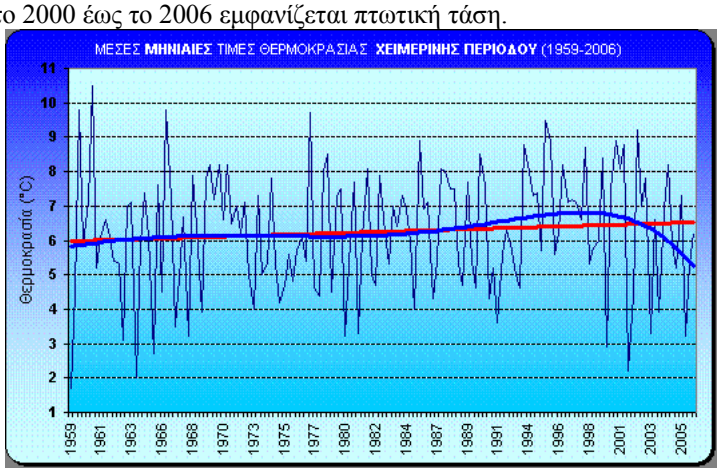
Σχήμα 2. Μέση μηνιαία και γραμμική τάση θερμοκρασίας (κόκκινη γραμμή) Θεσσαλονίκης για τα έτη 1959 – 2006

2.3 Μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες Χειμερινής – Θερινής περιόδου

Εξετάσθηκε η μέση μηνιαία θερμοκρασία για την Χειμερινή (Δεκέμβριος – Φεβρουάριος) και Θερινή περίοδο (Ιούνιος - Αύγουστος) και αποκαλύπτεται ότι μεγαλύτερη βαρύτητα στην μεταβολή της θερμοκρασίας οφείλεται στη Θερινή περίοδο. Τα αποτελέσματα είναι τα εξής:

2.3.1. Χειμερινή περίοδος

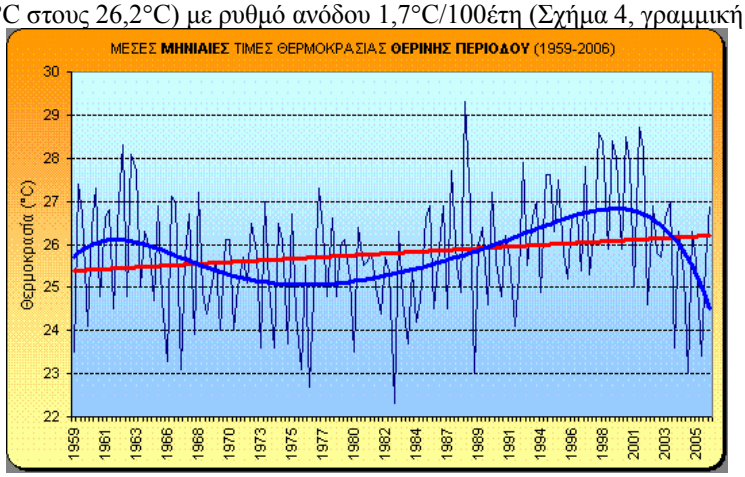
Η γραμμική τάση των μέσων μηνιαίων τιμών θερμοκρασίας (Σχήμα 3, γραμμική τάση) της Χειμερινής περιόδου (Δεκεμβρίου – Φεβρουαρίου) των ετών 1959 – 2006, είναι ανοδική με άνοδο κατά 0,5°C (από τους 6°C στους 6,5°C) με ρυθμό ανόδου 1,05°C/100έτη. Ο κινούμενος μέσος όρος δεν παρουσιάζει ιδιαίτερες διακυμάνσεις και μόνο από το 2000 έως το 2006 εμφανίζεται πτωτική τάση.



Σχήμα 3. Μέση μηνιαία θερμοκρασία, γραμμική τάση (κόκκινη γραμμή) και κινούμενος μέσος όρος (μπλε γραμμή) Χειμερινής περιόδου Θεσσαλονίκης (1959 – 2006)

2.3.2. Θερινή περίοδος

Η γραμμική τάση των μέσων μηνιαίων θερμοκρασιών της Θερινής περιόδου (Ιουνίου – Αυγούστου) των ετών 1959 – 2006, είναι ανοδική με άνοδο κατά 0,8°C (από τους 25,4°C στους 26,2°C) με ρυθμό ανόδου 1,7°C/100έτη (Σχήμα 4, γραμμική τάση).



Σχήμα 4. Μέση μηνιαία θερμοκρασία, γραμμική τάση (κόκκινη γραμμή) και κινούμενος μέσος όρος (μπλε γραμμή) Θερινής περιόδου Θεσσαλονίκης (1959 – 2006)

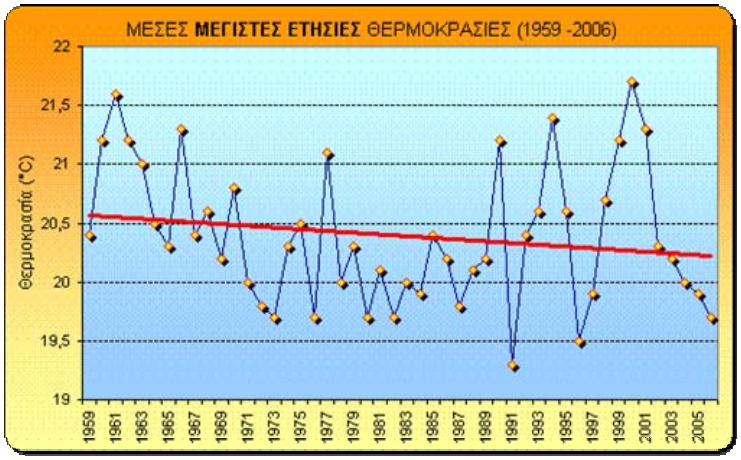
Ο κινούμενος μέσος όρος (Σχήμα 4) αποκαλύπτει μικρότερες χρονικές περιόδους ταλάντωσης της θερμοκρασίας, ίδιες με εκείνες που φάνηκαν στον έλεγχο των μέσων ετήσιων τιμών για όλη την χρονοσειρά, γεγονός που καταδεικνύει την σημασία – την ιδιαίτερη βαρύτητα που έχουν οι θερινοί μήνες στην διαμόρφωση της Ετήσιας Διακύμανσης της θερμοκρασίας στην περιοχή.

2.4 Μέσες ελάχιστες και μέσες μέγιστες θερμοκρασίες

Μελετήθηκαν οι μέσες ελάχιστες και μέσες μέγιστες τιμές της θερμοκρασίας της περιοχής, με σκοπό να διερευνηθεί σε ποιο βαθμό έχουν επηρεασθεί αυτές οι τιμές. Τα συμπεράσματα είναι ιδιαιτέρως σημαντικά, γιατί αυτά είναι που θέτουν ένα μέρος από τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του μικροκλίματος της περιοχής της Θεσσαλονίκης. Αναλυτικότερα:

2.4.1. Μέσες μέγιστες θερμοκρασίες

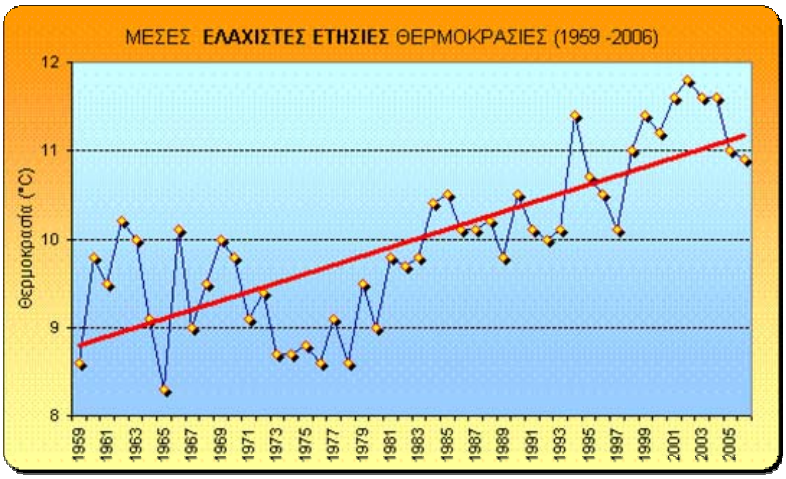
Η Μέση Μέγιστη Μηνιαία θερμοκρασία που προκύπτει είναι 20,4°C. Εξετάζοντας την πορεία των μέσων μέγιστων τιμών από το 1959 έως το 2006 (Σχήμα 5), αποκαλύπτεται καθοδική γραμμική τάση σε αντίθεση με τα αποτελέσματα που προέκυψαν για τις Μέσες τιμές των θερμοκρασιών. Η μέση μέγιστη θερμοκρασία για τα 48 χρόνια ελαττώθηκε κατά 0,4°C και ο ρυθμός καθόδου είναι 0,8°C/100 έτη.



Σχήμα 5. Μέση Μέγιστη ετήσια θερμοκρασία Θεσσαλονίκης, (η γραμμική τάση με κόκκινη γραμμή) για τα έτη 1959 – 2006.

2.4.2. Μέσες ελάχιστες θερμοκρασίες

Η Μέση Ελάχιστη θερμοκρασία περιοχής είναι περίπου 10 °C. Για όλη την εξεταζόμενη χρονική περίοδο, οι Μέση τιμή των Ελαχίστων θερμοκρασιών αποκαλύπτεται ανοδική (γραμμική τάση). Σε 48 χρόνια η Μέση Ελάχιστη θερμοκρασία αυξήθηκε ιδιαιτέρως σημαντικά κατά 2,6 °C, δηλαδή με ρυθμό ανόδου περίπου 5,4% (Σχήμα 6).



Σχήμα 6. Μέση Ελάχιστη ετήσια θερμοκρασία Θεσσαλονίκης, (η γραμμική τάση με κόκκινη γραμμή) για τα έτη 1959 – 2006.

3. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Συμπερασματικά, από την μελέτη των στοιχείων προκύπτει:

α) Η μέση θερμοκρασία στην περιοχή της Θεσσαλονίκης σε 48 χρόνια αυξήθηκε κατά 0,5°C, δηλαδή βρίσκεται σε ανοδική τροχιά με ρυθμό ανόδου 1,04%.

β) Συγκρίνοντας τις μέσες ελάχιστες και μέγιστες τιμές σε συνδυασμό με την μέση τιμή, οι ελάχιστες τιμές της θερμοκρασίας έχουν υποστεί την μεγαλύτερη μεταβολή, με αύξηση της τάξης του 5,4%, δηλαδή σε 48 χρόνια αυξήθηκε κατά 2,6°C.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ - ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ

1. Φούντα Δ., Παπαδόπουλος Κ., Πετράκης Μ. (2002): Ανάλυση της μέσης, μέγιστης και ελάχιστης θερμοκρασίας στην Αθήνα κατά τη χρονική περίοδο (1897-2001). Τάσεις, θερμά και ψυχρά επεισόδια. Πρακτικά 6ου Πανελλήνιου Συνεδρίου Μετεωρολογίας Κλιματολογίας και Φυσικής της Ατμόσφαιρας (σελ. 520-527). Ιωάννινα 25-28 Σεπτ. 2002.
2. http://reports.eea.eu.int/state_of_environment_report_2005_1/
3. http://www.clivar.org/organization/etccd

(151)

ΧΩΡΙΚΗ ΚΑΙ ΧΡΟΝΙΚΗ ΠΙΘΑΝΟΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΞΗΡΑΣΙΑΣ ΣΤΗ ΘΕΣΣΑΛΙΑ

Χ. Ζαραγκότας[1], Α. Λουκάς[2α], Λ. Βασιλειάδης[2β] και Π. Μήτσιου[1]
[1] Γραφείο Περιβαλλοντικών Μελετών και Ερευνών, Μανωλάκη 5-7, Τ.Κ. 41222 , Λάρισα, e-mail: zaragot@otenet.gr
[2] Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Πολυτεχνική Σχολή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πεδίον Άρεως, 38334, Βόλος, [α]aloukas@civ.uth.gr, [β]lvassil@uth.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η ανάπτυξη ετήσιων καμπυλών Δριμύτητας Ξηρασίας-Έκτασης-Συχνότητας καθώς και η ανάπτυξη ενιαίας ημιεμπειρικής έκφρασης περιόδου επαναφοράς-δριμύτητας-έκτασης για ολόκληρη τη Θεσσαλία, και για ομοιογενείς μετεωρολογικά ζώνες. Η εκτίμηση της δριμύτητας της ξηρασίας έγινε με τη χρήση του κανονικοποιημένου δείκτη βροχόπτωσης SPI για κελιά μεγέθους 8x8 km. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι ο δείκτης μπορεί να περιγράψει ορθά, τόσο τη χωρική όσο και τη χρονική κατανομή της ξηρασίας και να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση της επικινδυνότητας ιστορικών γεγονότων ξηρασίας.

SPATIAL AND TEMPORAL PROBABILISTIC DROUGHT ANALYSIS IN THESSALY

C. Zaragotas[1], A. Loukas[2], L. Vasiliades[2], and P. Mitsiou[1]
[1] Environmental Studies and Research Office, Manolaki 5-7, 41222 Larisa, zaragot@otenet.gr
[2] University of Thessaly, Polytechnic School, Dept. of Civil Engineering, Pedion Areos, 38334 Volos, aloukas@civ.uth.gr, lvassil@uth.gr

ABSTRACT

The temporal and spatial characteristics of meteorological drought are investigated to provide a framework for sustainable water resources management in the region of Thessaly, Greece. Using the Standardized Precipitation Index (SPI) as an indicator of drought severity, Thessaly was divided into 212 grid-cells of 8X8 km and drought severity was assessed from the estimated gridded SPI values at multiple time scales for the whole area as well as for homogenous subareas. Firstly, the temporal and spatial characteristics of droughts were analyzed and then, Drought Severity - Areal extent - Frequency (SAF) annual curves were developed. Using the SAF curves, the return period of selected severe drought events was assessed.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ξηρασία είναι ένα φαινόμενο που κατά καιρούς επέφερε σημαντικές και πολλές φορές μη αντιστρεπτές επιπτώσεις στο γενικότερο περιβάλλον στο οποίο εξελίχθηκε. Η μείωση της παροχής των ποταμών, η πτώση της στάθμης του υπόγειου υδροφορέα, η δραματική μείωση της υγρής επιφάνειας λιμνών, είναι μερικές από της επιπτώσεις της. Για την ανάλυση του φαινομένου της ξηρασίας είναι απαραίτητο να ανιχνευτούν διάφορα χαρακτηριστικά της γνωρίσματα όπως το χρονικό διάστημα έναρξης και παύσης, η έκταση, η δριμύτητα, η περιοδικότητα και η διάρκεια του φαινομένου. Η ανάλυση της χρονικής και χωρικής μεταβλητότητας της ξηρασίας θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για τη διαχείριση των υδατικών πόρων όπως η διαχείριση ταμιευτήρων και λιμνοδεξαμενών και ο έλεγχος ύδρευσης και άρδευσης.

Για τον χαρακτηρισμό της ξηρασίας χρησιμοποιήθηκαν κατά καιρούς διάφοροι δείκτες ξηρασίας. Οι δείκτες μετρούν το κατά πόσο το ύψος βροχόπτωσης δεδομένης χρονικής περιόδου αποκλίνει από τις κανονικές συνθήκες. Λαμβάνοντας ως δεδομένα τιμές βροχόπτωσης, χιονοκάλυψης, απορροής και άλλων δεικτών υδατικού εφοδιασμού, εξομοιώνουν την επάρκεια ή ανεπάρκεια υγρασίας σε ένα κατανοητό και πλήρη πίνακα. Οι περισσότερο συνηθισμένοι δείκτες μετεωρολογικής ξηρασίας είναι: 1) Ασυνεχείς και αθροιστικές μη ομαλές βροχοπτώσεις, 2) Z-score ή κανονικοποιημένη μη ομαλή βροχόπτωση, 3) Δείκτης Δριμύτητας Ξηρασίας Palmer (PDSI), 4)Δείκτης Ξηρασίας Bhalme – Mooley (BMDI), 5) Δείκτης ανωμαλιών βροχόπτωσης (Rainfall Anomaly Index, RAI), 6) Κανονικοποιημένος Δείκτης Βροχόπτωσης (SPI), 7) Αναγνωριστικός Δείκτης Ξηρασίας (Reconnaissance Drought Index, RDI).

Στην παρούσα εργασία μελετάται η χωρική και χρονική κατανομή της ξηρασίας στο γεωγραφικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας. Από σύνολο πενήντα βροχομετρικών σταθμών του γεωγραφικού διαμερίσματος της Θεσσαλίας, λήφθηκαν τα μηνιαία αθροιστικά ύψη βροχόπτωσης για χρονική περίοδο τριάντα τριών ετών (Υδρολογικά έτη: 1960-61 έως και 1992-93). Με τη βοήθεια του Γεωγραφικού Συστήματος Πληροφοριών (GIS) ArcVIEW, δομήθηκε ψηφιακό μοντέλο εδάφους βάσει του οποίου η μείζονα λεκάνη απορροής της Θεσσαλίας χωρίσθηκε σε ισομεγέθη στοιχειώδη κελιά (grids), διαστάσεων 8 x 8 χιλιομέτρων. Βάση ενός μοντέλου με εξαρτημένη μεταβλητή την βροχόπτωση και ανεξάρτητες μεταβλητές τις γεωγραφικές συντεταγμένες και το υψόμετρο του κάθε κελιού, εκτιμήθηκε η βροχόπτωση σε κάθε σημείο όπου δεν υπάρχουν μετρήσεις. Η εκτίμηση της ξηρασίας έγινε με τη χρησιμοποίηση του δείκτη SPI. Με δεδομένα τις υπολογιζόμενες τιμές βροχόπτωσης, υπολογίσθηκε ο βαθμός ξηρασίας, τόσο χωρικά όσο και χρονικά, σε ετήσια βάση για ομογενείς μετεωρολογικά ζώνες, καθώς και σύγκριση των καμπυλών που προέκυψαν για ολόκληρη τη Θεσσαλία με τις αντίστοιχες καμπύλες που προέκυψαν για τις επιμέρους ζώνες και για διάρκειες 1, 3, 6, 9 και 12 μηνών. Μετά από πιθανοθεωρητική ανάλυση των δεδομένων αυτών προέκυψαν καμπύλες Δριμύτητας ξηρασίας – Έκτασης – Συχνότητας, για διάφορες περιόδους επανεμφάνισης και διάφορα ποσοστά έκτασης της Θεσσαλίας. Ακραία γεγονότα ξηρασίας αναλύθηκαν ως προς την έκταση και την ένταση με τη βοήθεια των καμπυλών αυτών.

2. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ ΚΑΙ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Περιοχή μελέτης της παρούσας εργασίας αποτελεί το γεωγραφικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας. Ανήκει στο κεντρικό τμήμα της χώρας με εξαιρετικά πλούσια φυσιογνωμία, διαθέτοντας τόσο πεδινές όσο ορεινές και παραλιακές εκτάσεις. Η περιοχή αυτή παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον διότι αποτελεί τη μεγαλύτερη πεδινή έκταση της χώρας. Το σύνολο της έκτασής της κατανέμεται ως εξής: πεδινό 5.140 km^2, ημιορεινό

2.400 km^2 και ορεινό 6.550 km^2. Συγκεντρώνει όλα τα είδη των υδατικών καταναλώσεων, όπως άρδευση, ύδρευση για αστική και βιομηχανική χρήση. Σε γενικές γραμμές το κλίμα στην πεδιάδα της Θεσσαλίας χαρακτηρίζεται ως εύκρατο με ηπειρωτικές περιόδους και διαφορετικές θερμομετρικές διακυμάνσεις ως προς το εύρος κατά τη διάρκεια του έτους.

Η περιοχή της Θεσσαλίας έχει αντιμετωπίσει αρκετές, έντονες και επίμονες περιόδους ξηρασίας τόσο στα μέσα της δεκαετίας του ’70 όσο και κύρια στα τέλη της δεκαετίας του ’80 και στις αρχές αυτής του ’90. Η ανάλυση της μέσης αθροιστικής βροχόπτωσης των περιόδων αυτών δείχνει σημαντική απόκλιση προς τα κάτω από τον μέσο όρο. Ιδιαίτερα, τα έτη 1989-90 και 1976-77 φαίνονται να είναι τα ξηρότερα των περιόδων αυτών για όλη την έκταση της Θεσσαλίας. Χωρική ανάλυση της ξηρασίας στη Θεσσαλία κατέληξε στο ίδιο συμπέρασμα [1]. Η παρατεταμένη και επίμονη ξηρασία είχε δραματικές επιπτώσεις στους υδάτινους πόρους - επιφανειακούς και υπόγειους - της περιοχής αλλά και στην αγροτική παραγωγή και κατ’ επέκταση στην οικονομία της περιοχής, η οποία στηρίζεται κυρίως στο αγροτικό εισόδημα [2].

3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ - ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

3.1. Εκτίμηση χωρικής κατανομής υετόπτωσης

Η μεθοδολογία που εφαρμόστηκε στην περιοχή της Θεσσαλίας συνίσταται στην χωρική κατανομή της βροχόπτωσης και στην εκτίμηση αυτής σε θέσεις όπου δεν υπάρχουν μετρήσεις. Με βάση τις ετήσιες τιμές, η επιφανειακή βροχόπτωση εκτιμήθηκε με τη χρήση της τεχνικής της πολλαπλής γραμμικής συσχέτισης (MLR) [3]. Οι σημειακές τιμές βροχόπτωσης, χρησιμοποιήθηκαν στην εκτίμηση της βροχόπτωσης σε θέσεις όπου δεν υπάρχουν μετρήσεις και η μέθοδος MLR χρησιμοποίησε αυτές τις σημειακές τιμές βροχόπτωσης για να «χτίσει» ένα μοντέλο και κατόπιν να το εφαρμόσει στην διακριτοποιημένη περιοχή όπου κάθε φατνίο έχει γνωστό υψόμετρο και συντεταγμένες.

Ο γενικός τύπος του μοντέλου, που τελικά χρησιμοποιήθηκε, είναι:

$$P=\alpha +b1Z+ b2X+ b3Y+ZX+ZY+XY+ b4Z2+ b5X2+ b6Y2 \qquad (1)$$

όπου P το ύψος βροχόπτωσης (mm), Z το υψόμετρο (m), X το γεωγραφικό μήκος (km), Y το γεωγραφικό πλάτος (km), b1,b2,b3,b4,b5,b6 οι συντελεστές της εξίσωσης, και α ο σταθερός όρος.

Από τα πρωτογενή δεδομένα (ημερήσια ύψη βροχόπτωσης), εξήχθησαν τα μηνιαία αθροιστικά ύψη βροχόπτωσης κάθε σταθμού και για χρονική περίοδο τριάντα τριών ετών Οκτώβριος 1960 έως και Σεπτέμβριος 1993. Βάσει των τιμών αυτών εκτιμήθηκε η ποσότητα βροχόπτωσης σε κάθε κελί της διακριτοποιημένης λεκάνης. Η εκτίμηση της βροχόπτωσης για την περίοδο της ανάλυσης όπως ήδη έχει αναφερθεί, στηρίχθηκε στη χρήση εξισώσεων πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης μεταξύ της μηνιαίας βροχόπτωσης, των συντεταγμένων και του υψομέτρου. Αναπτύχθηκαν συνολικά 396 μηνιαίες σχέσεις MLR, όπου για κάθε σχέση εκτιμήθηκαν οι συντελεστές b1,b2,b3,b4,b5,b6 και α. Η εκτίμηση των συντελεστών στηρίχθηκε στην χρήση της μεθόδου των ελαχίστων τετραγώνων, έτσι ώστε να ελαχιστοποιείται το σφάλμα προσαρμογής της θεωρητικά υπολογιζόμενης καμπύλης στα σημεία γνωστού ύψους βροχόπτωσης. Με αντικατάσταση των τιμών των συντεταγμένων (X, Y, Z) του κάθε κελιού στη Εξ. (1), καθώς και των συντελεστών b_1,b_2,b_3,b_4,b_5,b_6 και α για κάθε μήνα, υπολογίστηκε κατόπιν η τιμή της βροχόπτωσης για κάθε μήνα, για κάθε κελί, για όλα τα υδρολογικά έτη καθώς και για όλες τις χρονικές διάρκειες μελέτης του φαινομένου, (1, 3, 6, 9 και 12 μηνών).

3.2. Υπολογισμός του δείκτη ξηρασίας για κάθε κελί

Ο υπολογισμός του SPI [4] συντελέστηκε με την προσαρμογή των δεδομένων βροχόπτωσης, σε μια θεωρητική συνάρτηση κατανομής πιθανοτήτων. Η συνάρτηση η οποία έχει καλή εφαρμογή επί των χρονοσειρών κατακρημνισμάτων, είναι η Gamma κατανομή, η οποία ορίζεται από την συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας:

$$G(x) = \frac{1}{\beta^{\alpha}\Gamma(\alpha)} \chi^{\alpha-1} e^{-\chi/\beta} \quad \text{για } \chi>0 \qquad (2)$$

όπου: n ο αριθμός των παρατηρήσεων κάθε χρονοσειράς,

x >0 η ποσότητα της βροχόπτωσης,

α >0 η παράμετρος σχήματος,

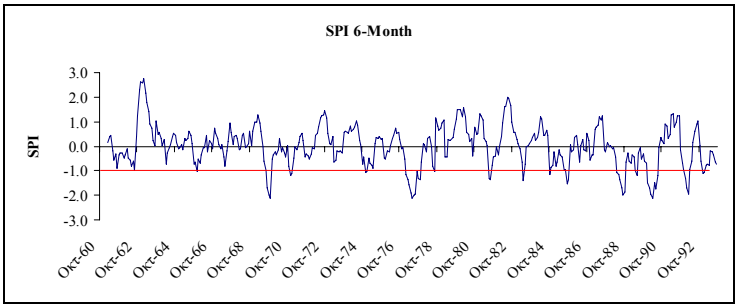
β >0 η παράμετρος κλίμακας, και

$\Gamma(\alpha) = \int_0^{\infty} y^{\alpha-1} e^{-y} dy$ η γάμα συνάρτηση.

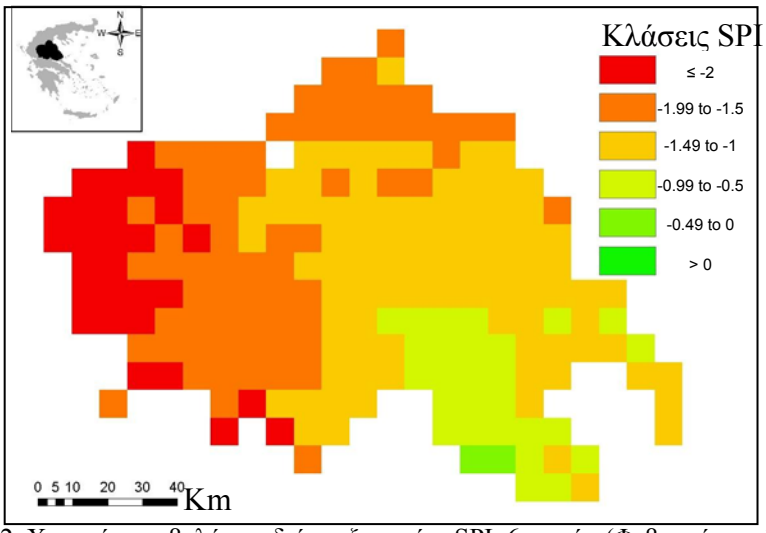
Η αθροιστική κατανομή πιθανότητας Gamma μετασχηματίζεται στη συνέχεια σε τυπική κανονική κατανομή, με μέσο όρο μηδέν και τυπική απόκλιση ίση με ένα. Το μέγεθος της απόκλισης από το μέσο όρο δίνει την τιμή του SPI. Τα αποτελέσματα ομαδοποιούνται σε πίνακες (έναν για κάθε διάρκεια) όπου παρουσιάζονται οι τιμές του δείκτη SPI ανά κελί, ανά μήνα και για κάθε υδρολογικό έτος.

3.3. Χρονική και χωρική ανάλυση της ξηρασίας

Από τους πίνακες με τιμές SPI ανά μήνα και ανά έτος και για κάθε διάρκεια (1, 3, 6, 9 και 12-μηνών), υπολογίσθηκε η μέση τιμή του δείκτη, ανά μήνα για όλη την περιοχή. Η χρονοσειρά των μέσων μηνιαίων τιμών SPI 6-μηνών απεικονίζεται γραφικά στο Σχήμα 1. Με τη βοήθεια του Γεωγραφικού Συστήματος Πληροφοριών (GIS) ArcView, απεικονίσθηκαν σε χάρτες η χρονική και χωρική κατανομή του δείκτη ξηρασίας SPI 6-μηνης χρονικής κλίμακας στο γεωγραφικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας, για όλη την περίοδο ανάλυσης. Από την παραπάνω χωροχρονική ανάλυση διαπιστώθηκε ότι δύο κύρια επεισόδια ξηρασίας παρουσιάζονται στη Θεσσαλία και εμφανίζονται στα υδρολογικά έτη 1976-1977 και 1988-1990 που καλύπτουν και μεγάλη έκταση της Θεσσαλίας (*Σχήμα 2*).



Σχήμα 1. Χρονική μεταβολή του δείκτη ξηρασίας SPI, 6-μηνών.



Σχήμα 2. Χωρική μεταβολή του δείκτη ξηρασίας SPI, 6-μηνών (Φεβρουάριος 1990).

3.4. Ομοιογενείς μετεωρολογικά ζώνες

Μια από τις μεθόδους για περιοχική ταξινόμηση ομάδων δεδομένων που προέρχονται από σημειακές μετρήσεις στις οποίες υπάρχει ισχυρή χωρική και χρονική συσχέτιση, είναι η παραγοντική ανάλυση (Factor Analysis). Το κύριο όφελος αυτής της μεθόδου είναι η μείωση του αριθμού των αρχικών μεταβλητών σε ασυσχέτιστες μεταβλητές που ονομάζονται παράγοντες. Σε αυτήν την μελέτη, το κριτήριο πλήρωσης 90% της διασποράς των δεδομένων (90% explained variance) χρησιμοποιείται, που σύμφωνα με το οποίο διατηρούνται όλοι οι παράγοντες έως ότου η διασπορά να φτάσει το 90%. Ένα άλλο σημαντικής σημασίας στάδιο σε αυτήν την ανάλυση είναι η αποκαλούμενη περιστροφή των αξόνων με στόχο τον ευκολότερο προσδιορισμό των παραγόντων. Στην παρούσα ανάλυση η ορθογώνια περιστροφή (varimax) έχει εφαρμοστεί, η οποία κρατά τους παράγοντες ασυσχέτιστους. Η εφαρμογή της παραγοντικής ανάλυσης έδωσε τρεις περιοχές για όλες τις χρονικές κλίμακες των τιμών του SPI για τα κελιά και χωρίζονται στην βόρεια και κεντρική περιοχή της Θεσσαλίας (Ζώνη Α), στην ανατολική Θεσσαλία (Ζώνη Β) και στην δυτική Θεσσαλία (Ζώνη Γ). Ενδεικτικά δείχνονται οι τρεις ζώνες που προέκυψαν για το 6-μηνών SPI.

3.5. Ετήσια ανάλυση ξηρασίας

Για κάθε χρονική κλίμακα μελέτης του φαινομένου (1, 3, 6, 9 και 12 μηνών) και από τους πίνακες με τις τιμές του δείκτη SPI ανά φατνίο, ανά μήνα και για κάθε υδρολογικό έτος υπολογίσθηκε:

Το πλήθος των grid ανά μήνα, όπου εμφανίζεται ξηρασία (αρνητικές τιμές SPI).

Το ποσοστό (%) της συνολικής έκτασης που πλήττεται από ξηρασία στο συγκεκριμένο μήνα.

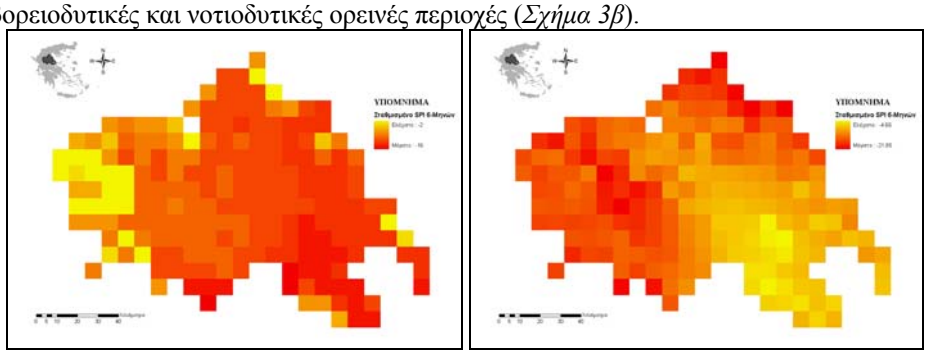
Η μέση τιμή του δείκτη SPI που αντιστοιχεί στο συγκεκριμένο ποσοστό έκτασης.

Για κάθε μήνα κάθε υδρολογικού έτους η μέση τιμή του SPI κατανέμεται σε αντίστοιχα ποσοστά έκτασης. Η συνολική έκταση της λεκάνης διαχωρίζεται σε δέκα κλάσεις ποσοστών με κάτω όριο κάθε κλάσης 0%, 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90% αντίστοιχα και άνω όριο όλων των κλάσεων το σύνολο της έκτασης. Ο μέσος SPI για κάθε μήνα αποτελεί και τον SPI κάθε κλάσης μέχρι του ποσοστού έκτασης που πλήττεται από ξηρασία. Η όλη διαδικασία επαναλαμβάνεται για όλες τις

χρονικές κλίμακες εξέτασης του φαινομένου και για ολόκληρη τη Θεσσαλία αλλά και για τρεις ομοιογενείς ζώνες.

Από τις τιμές του δείκτη ξηρασίας ανά έτος και ανά ποσοστό έκτασης, υπολογίστηκε κατόπιν, ο δείκτης ξηρασίας SPI για κάθε έτος ξεχωριστά και για κάθε ποσοστό έκτασης. Η εκτίμηση του ετήσιου δείκτη SPI, έγινε: Με άθροιση των αρνητικών τιμών του δείκτη (ξηροί μήνες) ανά υδρολογικό έτος και ανά κλάση και πολλαπλασιασμό του αθροίσματος με την πιθανότητα εμφάνισης ξηρασίας για κάθε έτος. Ο υπολογισμός της ετήσιας πιθανότητας εμφάνισης ξηρασίας εκτιμήθηκε διαιρώντας τον αριθμό των μηνών του έτους που παρουσιάζουν αρνητικές τιμές SPI με το 12 [1], [5]. Λήφθηκε έτσι, η σταθμισμένη ετήσια αθροιστική δριμύτητα ξηρασίας. Με την ανάλυση αυτή κάθε γεγονός ξηρασίας κατανέμεται ομαλά στο συγκεκριμένο έτος, αποφεύγοντας τις ασυνέχειες, η δε διάρκεια των ξηρών γεγονότων εντός του συγκεκριμένου έτους λαμβάνεται υπόψη. Τέλος, με τη χρήση των GIS απεικονίσθηκε σε χάρτες η χωρική κατανομή του σταθμισμένου ετήσιου δείκτη ξηρασίας SPI στο γεωγραφικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας, για τα υδρολογικά έτη 1976-1977 και 1989-1990, 6-μηνης χρονικής κλίμακας. Από προεπισκόπηση των χαρτών της χωρικής κατανομής του σταθμισμένου ετήσιου αθροιστικού δείκτη ξηρασίας για τα δύο γεγονότα ξηρασίας, προκύπτει ότι: οι μέγιστες τιμές του σταθμισμένου δείκτη περιορίζονται στις δυτικές και νοτιοανατολικές ορεινές και ημιορεινές περιοχές για το υδρολογικό έτος 1976-1977 (*Σχήμα 3α*), ενώ για το υδρολογικό έτος 1989-1990 μέγιστες τιμές του δείκτη εντοπίζονται στις βόρειες, βορειοδυτικές και νοτιοδυτικές ορεινές περιοχές (*Σχήμα 3β*).

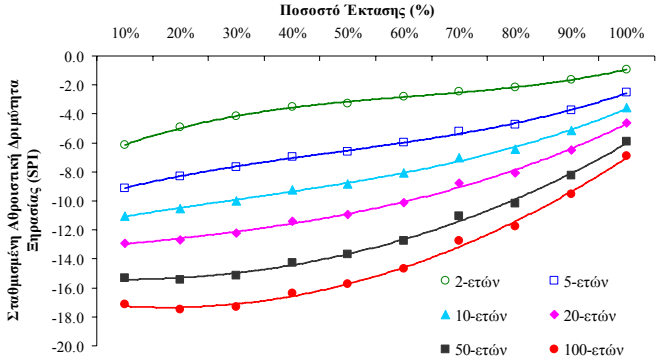
α) β)



Σχήμα 3. Χωρική κατανομή σταθμισμένου δείκτη ξηρασίας SPI 6-Μηνών α) υδρολογικού έτους 1976-77 και β) υδρολογικού έτους 1989-90

3.5. Εύρεση καμπυλών Δριμύτητας ξηρασίας-Έκτασης-Περιόδου επαναφοράς

Στις χρονοσειρές τιμών SPI ανά μήνα, ανά ποσοστό έκτασης και για κάθε διάρκεια προσαρμόζεται κατόπιν η κατανομή ακραίων τιμών Gumbel. Κάθε τιμή της χρονοσειράς ανά κλάση σταθμίστηκε με πολλαπλασιασμό κάθε τιμής με το πλήθος των τιμών των μεγαλύτερων του μηδενός και διαίρεση με τον αριθμό τον υδρολογικών ετών. Εφαρμόζοντας τα παραπάνω για περιόδους επανεμφάνισης του φαινομένου 2, 5, 10, 20, 50 και 100 χρόνια και για κάθε διάρκεια, εξάγονται οι τιμές του δείκτη SPI που αντιστοιχούν στις παραπάνω περιόδους επαναφοράς. Τα σημεία τοποθετούνται σε διάγραμμα όπου στον κατακόρυφο άξονα απεικονίζεται η δριμύτητα της ξηρασίας μέσω του δείκτη SPI και στον οριζόντιο τα αντίστοιχα ποσοστά έκτασης επηρεασμού Τα σημεία που έχουν την ίδια περίοδο επανεμφάνισης ενώνονται με καμπύλες δημιουργώντας έτσι τα διαγράμματα Δριμύτητας ξηρασίας-Έκτασης-Περιόδου επαναφοράς (Severity-Area-Frequency curves, SAF) (*Σχήμα 4*).



Σχήμα 4. Καμπύλες σταθμισμένης αθροιστικής Δριμύτητας ξηρασίας-Έκτασης-Περιόδου επαναφοράς

3.6. Ανάπτυξη ενιαίας ημιεμπειρικής έκφρασης Δριμύτητας ξηρασίας-Έκτασης-Περιόδου επαναφοράς

Από τις τιμές του δείκτη SPI που προέκυψαν από την συνάρτηση κατανομής για κάθε περίοδο επαναφοράς υπολογίζεται η τιμή του δείκτη δριμύτητας ξηρασίας μέσω της παρακάτω σχέσης:

$$SPI = \frac{\lambda T^{\kappa}}{(A+\theta)^{\eta}} \qquad (3)$$

όπου A: το ποσοστό έκτασης (%), T: περίοδος επαναφοράς σε έτη, και θ, λ, κ και η: παράμετροι της εξίσωσης. Η εκτίμηση των παραμέτρων της παραπάνω σχέσης έγινε με την μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων ώστε να ελαχιστοποιηθεί το άθροισμα των τετραγώνων των διαφορών μεταξύ των τιμών του δείκτη SPI, που προέκυψε από την συνάρτηση κατανομής και των αντιστοίχων τιμών SPI που προκύπτουν από την Εξ. (3) και παρουσιάζονται στον Πίνακα 1.

Πίνακας 1. Τιμές των συντελεστών της ενιαίας ημιεμπειρικής έκφρασης για ολόκληρη τη Θεσσαλία και ομοιογενείς μετεωρολογικά ζώνες διάρκειας 6-μηνών

Συντελεστές	Συνολική έκταση Θεσσαλίας	Ομοιογενείς Μετεωρολογικά Ζώνες		
		A	**B**	**C**
λ	35.00	35.00	35.00	35.00
κ	0.29	0.31	0.31	0.30
θ	2.21	3.13	3.11	2.27
η	2.21	1.69	1.76	2.22
R^2	0.92	0.95	0.94	0.95

Από την παραπάνω σχέση υπολογίσθηκε η περίοδος επαναφοράς T των ιστορικών γεγονότων ξηρασίας (1976-77), (1989-90) για ποσοστά έκτασης 50% και 100% τόσο στο σύνολο της Θεσσαλίας όσο και στις ομοιογενείς μετεωρολογικά ζώνες και για διάρκεια 6-μηνών και παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η χωρική και χρονική ανάλυση της ξηρασίας έδειξε ότι η Θεσσαλία έχει πληγεί από παρατεταμένη δριμεία ξηρασία στις περιόδους 1976-1977 και 1987-1990. Η χωρική μεταβολή της ξηρασίας κατά τις δύο αυτές περιόδους ήταν αρκετά διαφορετική. Γι'

αυτή του 1976-1977, οι περιοχές που επλήγησαν περισσότερο ήταν οι νότιες και οι παράκτιες περιοχές της Θεσσαλίας, σε αντίθεση με τις δυτικές και βόρειες περιοχές που επλήγησαν από την παρατεταμένη ξηρασία της περιόδου 1989-1990. Η ξηρασία αυτή παρ' ότι ήταν λιγότερο δριμεία από εκείνη του 1976-1977, έπληξε μεγαλύτερη έκταση και είχε μεγαλύτερη διάρκεια και επηρέασε τις περιοχές των πηγών του Πηνειού και των παραποτάμων του. Σαν αποτέλεσμα, αυτή η περίοδος μετεωρολογικής ξηρασίας, συνδυάστηκε και με υδρολογική ξηρασία και προκάλεσε μείωση του υδατικού δυναμικού και σημαντική πτώση της ροής του Πηνειού. Δείχθηκε ότι η ξηρασία που ενέσκηψε στα τέλη της δεκαετίας του '80 έχει περίοδο επαναφοράς πλέον των 80 ετών και μεγάλη επηρεαζόμενη έκταση, μεγαλύτερης του 50%.

Πίνακας 2. Περίοδοι επαναφοράς ιστορικών γεγονότων ξηρασίας για ολόκληρη τη Θεσσαλία και ομοιογενείς μετεωρολογικά ζώνες διάρκειας 6-μηνών

Έκταση (%)	Συνολική έκταση Θεσσαλίας	Ομοιογενείς Μετεωρολογικά Ζώνες		
		A	**B**	**C**
Υδρολογικό Έτος 1976-77				
50%	60.16	47.65	75.45	43.80
100%	18.87	23.57	63.28	5.48
Υδρολογικό Έτος 1989-90				
50%	49.83	34.80	15.41	105.83
100%	26.42	24.60	12.59	88.27

Η εφαρμογή της ενιαίας ημιεμπειρικής έκφρασης τόσο στο σύνολο της Θεσσαλίας όσο και σε κάθε υποπεριοχή συγκεκριμενοποίησε τα γεγονότα ξηρασίας χωρικά, δίνοντας αντίστοιχα και το μέγεθος της δριμύτητάς τους. Από την ξηρασία του 89-90 επλήγησαν οι δυτικές ορεινές περιοχές με περιόδους επαναφοράς πλέον των 100 και 85 ετών για αντίστοιχα ποσοστά έκτασης 50% και 100%. Η ξηρασία της περιόδου 1976-1977 έπληξε τις ανατολικές ορεινές και ημιορεινές περιοχές της Θεσσαλίας με περίοδο επαναφοράς πλέον των 60 ετών και για το 100 % της έκτασης [6]. Από τα παραπάνω συμπεραίνεται ότι ο SPI είναι σημαντικό εργαλείο ανάλυσης ιστορικών ή και πρόβλεψης μελλοντικών γεγονότων ξηρασίας αφού περιγράφει ικανοποιητικά τη χωρική και χρονική κατανομή της και δεν αστοχεί στον υπολογισμό της έντασής της.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Loukas A. and Vasiliades L. 2004. Probabilistic analysis of drought spatiotemporal characteristics in Thessaly Region, Greece. *Nat. Haz. Earth Sys. Sc.*, 4: 719-731.
2. Loukas, A., Mylopoulos, N. and Vasiliades, L. 2007. A modeling system for the evaluation of water resources management strategies in Thessaly, Greece. *Water Resour. Manage*., DOI 10.1007/s11269-006-9120-5.
3. Naoum, S. and Tsanis, I.K., 2003. Temporal and spatial variation of annual rainfall on the island of Crete, Greece, *Hydrol. Process.,* 17(10), 1899-1922.
4. McKee T.B., Doesken N.J. and Kleist J. 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. Preprints, *Eighth Conference on Applied Climatology*, Anaheim, CA, Am. Meteor. Soc., 179-184.
5. Kim, T.W., Valdes, J.B., and Aparicio, 2002. Frequency and spatial characteristics of droughts in the Conchos River Basin, Mexico, *Water Int*., 27(3): 420-430.
6. Ζαραγκότας, Χ., 2005. *Πιθανοθεωρητική χρονική και χωρική ανάλυση ξηρασίας και διερεύνηση της σχέσης μετεωρολογικής και υδρολογικής ξηρασίας στη Θεσσαλία*. Διπλωματική εργασία. Π.Σ.Ε. Διαχείριση Αγροτικού Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 155 σελ.

(152)

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ ΣΤΗ ΔΡΙΜΥΤΗΤΑ ΞΗΡΑΣΙΑΣ ΣΤΗ ΘΕΣΣΑΛΙΑ

Γ.Τζαμπύρας[1α], Α.Λουκάς[1β] και Λ.Βασιλειάδης[1γ]
[1] Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πεδίον Άρεως Τ.Κ. 38334, Βόλος, [α] jjabiras@hotmail.com , [β]aloukas@civ.uth.gr, [γ]lvassil@uth.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα εργασία αξιολογεί τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στα χαρακτηριστικά της ξηρασίας για το υδατικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας. Η εκτίμηση της ξηρασίας γίνεται με τη χρήση του κανονικοποιημένου δείκτη βροχόπτωσης (Standardized Precipitation index, SPI). Με τη βοήθεια ενός Γεωγραφικού Συστήματος Πληροφοριών (GIS), η Θεσσαλία χωρίστηκε σε δώδεκα ομογενείς υδρολογικές περιοχές και έγινε ανάλυση του δείκτη σε ιστορικές και μελλοντικές συνθετικές χρονοσειρές. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η δριμύτητα ξηρασίας δείχνει τάσεις αύξησης σε όλες τις περιοχές στις μελλοντικές περιόδους.

CLIMATE CHANGE IMPACT ASSESSMENT ON DROUGHT SEVERITY IN THESSALY REGION

G. Tzampiras[1a], A. Loukas[1b] and L. Vasilliades[1c]
[1] University of Thessaly, Department of Civil Engineering, Pedion Areos 38334, Volos, [a]jjabiras@hotmail.com , [b]aloukas@civ.uth.gr, [c]lvassil@uth.gr

ABSTRACT

This paper estimates the climate change effect on drought characteristics in the region of Thessaly. The Standardized Precipitation index (SPI) is being used for the drought estimation. A geographical information system is applied for the separation of Thessaly region into twelve hydrological homogeneous areas. The SPI time-series have been estimated and analyzed for historic and future periods. The results showed that drought severity would be increased in all areas of Thessaly and for the two future periods.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Είναι σαφές ότι η συνεχής μεταβολή του κλίματος είναι ένα από τα σημαντικότερα σύγχρονα προβλήματα που αντιμετωπίζει ο πλανήτης. Η μέση θερμοκρασία της γης έχει αυξηθεί σημαντικά τα τελευταία χρόνια και πρωταρχικό ρόλο σε αυτή την εξέλιξη διαδραματίζει ο άνθρωπος. Είναι χαρακτηριστικό ότι η αύξηση αυτή της θερμοκρασίας έγινε μεγαλύτερη από τον αιώνα της βιομηχανικής επανάστασης και μετέπειτα. Κυρίαρχο λοιπόν παράγοντα αποτελούν οι αυξημένες εκπομπές των αερίων που είναι γνωστά ως αέρια του θερμοκηπίου αλλά και των θειούχων αεροζόλ των οποίων το ρυθμό εκπομπής ελέγχει ο άνθρωπος. Η διατήρηση της ίδιας λογικής και στα επόμενα χρόνια ενδέχεται να προκαλέσει σοβαρότατες ανωμαλίες του κλίματος κάτι που προβάλλεται από πολλές επιστημονικές μελέτες [1].

Το φαινόμενο της ξηρασίας άρχισε πρόσφατα να απασχολεί το ευρύ κοινό λόγω της λειψυδρίας που παρατηρήθηκε τις προηγούμενες δεκαετίες στη χώρα μας αλλά και σε μεγάλο βαθμό στην Ευρώπη. Είναι γεγονός ότι η ξηρασία είναι ακραίο γεγονός που έχει διάφορες εκφράσεις ανάλογα με την παράμετρο με την οποία εκφράζεται και ανάλογα με το κλίμα της περιοχής που αναφέρεται. Ουσιαστικά το κρίσιμο επίπεδο της μεταβλητής με την οποία εκφράζεται η ξηρασία διαφέρει από περιοχή σε περιοχή. Σύμφωνα με ένα γενικό ορισμό ξηρασία για ένα υδατικό σύστημα είναι το φαινόμενο κατά τη διάρκεια εμφάνισης του οποίου το υδατικό σύστημα βρίσκεται κάτω από ένα κρίσιμο επίπεδο σε σχέση με την κανονική του λειτουργία. Σε αυτόν τον γενικό ορισμό συμπεριλαμβάνονται θέματα τόσο διαθεσιμότητας του νερού αλλά και ζήτησης και αποθήκευσής του.

2. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ ΚΑΙ ΒΑΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

2.1. Περιοχή μελέτης

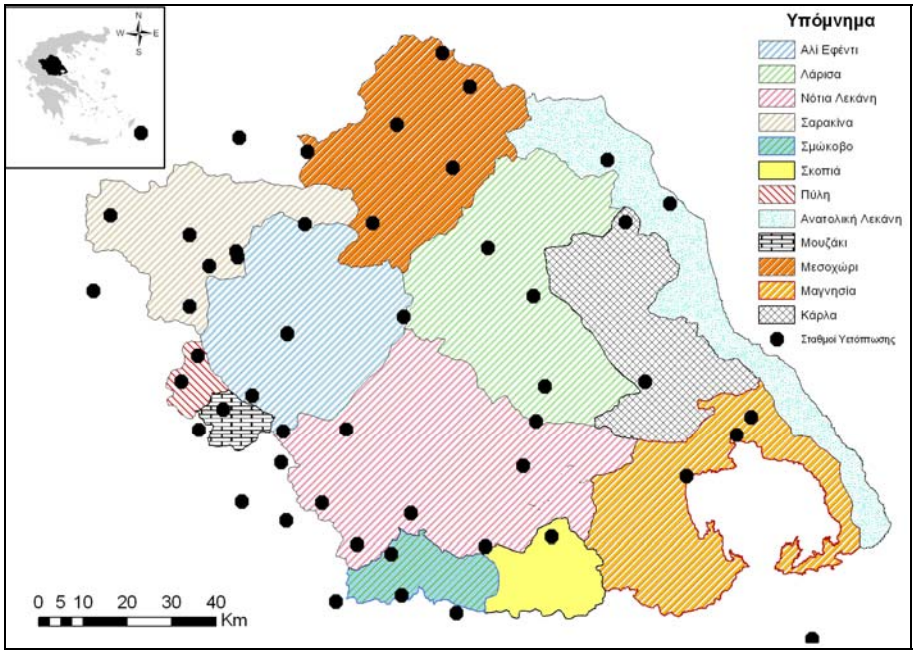
Η Θεσσαλία βρίσκεται στο βορειοανατολικό τμήμα της κεντρικής Ελλάδας. Ανατολικά βρέχεται από το Αιγαίο Πέλαγος, από τη δυτική και την κεντρική Μακεδονία χωρίζεται από τους ορεινούς όγκους του άνω Ολύμπου και του Τιτάρου. Από την Ήπειρο, η Θεσσαλία χωρίζεται από τα δυτικότερα όρη της Ν. Πίνδου. Νοτιότερα, τα διοικητικά της όρια με τη Στερεά Ελλάδα ταυτίζονται με μικρό τμήμα του Αχελώου. Η ορεινή Θεσσαλία έχει έκταση, περίπου, 9550 km^2, με ποσοστό επί του συνόλου 66,5%, ενώ η πεδινή (με υψόμετρο κάτω των 200 m) έχει έκταση, περίπου, 4520 km^2 με ποσοστό επί του συνόλου 33,5%. Το μέσο υψόμετρο του υδατικού διαμερίσματος είναι 285 m.

2.2. Βάση δεδομένων

Αναπτύχθηκε μια γεωγραφική βάση δεδομένων με όλες τις διαθέσιμες χωρικές πληροφορίες για την υπό μελέτη περιοχή. Τα διαθέσιμα δεδομένα ήταν ψηφιοποιημένες ισοϋψείς με ισοδιάσταση 100 m, τοπογραφικοί χάρτες 1:50.000 από την Ελληνική Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού και συντεταγμένες και υψόμετρα βροχομετρικών σταθμών. Με τη βοήθεια των ψηφιακών αυτών δεδομένων το υδατικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας χωρίστηκε σε δώδεκα υποπεριοχές με παρόμοια γεωμορφολογικά, μετεωρολογικά και υδρολογικά χαρικτηριστικά. Πολλές από αυτές τις υποπεριοχές αποτελούν υπολεκάνες της λεκάνης απορροής του Ποταμού Πηνειού (*Σχήμα 1*).

Χρησιμοποιήθηκαν μηνιαία δεδομένα βροχόπτωσης από 50 βροχομετρικούς σταθμούς κατανεμημένους στην περιοχή της Θεσσαλίας και ήταν διαθέσιμα για την περίοδο από τον Οκτώβριο του 1960 ως το Σεπτέμβριο του 1993 (*Σχήμα 1*). Η μέση επιφανειακή βροχόπτωση της κάθε υπολεκάνης υπολογίστηκε με την τροποποιημένη μέθοδο των πολυγώνων Thiessen, η οποία αποτελεί συνδυασμό δύο μεθόδων εκτίμησης

της επιφανειακής βροχόπτωσης. Η πρώτη μέθοδος είναι αυτή της βροχοβαθμίδας η οποία περιλαμβάνει την εκτίμηση της γραμμικής σχέσης ανάμεσα στη βροχόπτωση και στο υψόμετρο ενώ η δεύτερη μέθοδος είναι αυτή των πολυγώνων Thiessen, που στηρίζεται στο διαχωρισμό μιας περιοχής σε επιφάνειες επιρροής κάθε βροχομετρικού σταθμού.



Σχήμα 1. Περιοχή μελέτης και θέσεις βροχομετρικών σταθμών με τις δώδεκα ομοιογενείς περιοχές

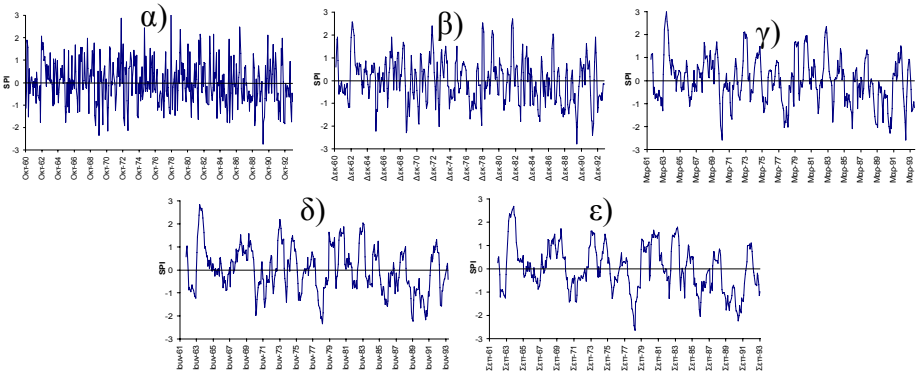
3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η αξιολόγηση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στα χαρακτηριστικά της ξηρασίας του υδατικού διαμερίσματος της Θεσσαλίας. Για το λόγο αυτό απαιτείται η χρήση ενός μοντέλου παγκόσμιας κυκλοφορίας (General Circulation Model, GCM) και ο στατιστικός καταβιβασμός κλίμακας των δεδομένων του στην περιοχή της Θεσσαλίας. Η αποτίμηση των επιπτώσεων στην ξηρασία έγινε με τη χρήση του κανονικοποιημένου δείκτη βροχόπτωσης (Standardized Precipitation index, SPI) και την πιθανοθεωρητική ανάλυση των αποτελεσμάτων του δείκτη. Στις παρακάτω παραγράφους παρουσιάζονται οι μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν.

3.1. Εκτίμηση του μετεωρολογικού δείκτη SPI

Σε αυτό το πρώτο στάδιο χρησιμοποιήθηκε η επιφανειακή βροχόπτωση για κάθε μία υποπεριοχή και υπολογίστηκε ο μετεωρολογικός δείκτης SPI [2]. Η διαδικασία αυτή έγινε για πολλαπλές χρονικές κλίμακες γιατί οι μικρές χρονικές κλίμακες είναι αντιπροσωπευτικές της μετεωρολογικής και γεωργικής ξηρασίας ενώ μεγαλύτερες χρονικές κλίμακες απαιτούνται για την αναγνώριση της υδρολογικής και κοινωνικοοικονομικής ξηρασίας [3], [4]. Έτσι, υπολογίστηκε ο SPI για τις χρονικές κλίμακες του 1-μήνα, των 3-μηνών, 6-μηνών, 9-μηνών, και 12-μηνών με τη διαφορά ότι λέγοντας χρονική κλίμακα 3-μηνών εννοείται ότι για τον υπολογισμό του στον κάθε

μήνα αθροίζεται και η βροχόπτωση των 2 προηγούμενων μηνών. Αντίστοιχα, για τον υπολογισμό του SPI 6-μηνών, αθροίζεται η βροχόπτωση των 5 προηγούμενων μηνών, του SPI 9-μηνών, αθροίζεται η βροχόπτωση των 8 προηγούμενων μηνών κ.ο.κ. Θα πρέπει να σημειωθεί επίσης ότι η διαδικασία αυτή έγινε και για τις 12 υποπεριοχές της Θεσσαλίας. Στο Σχήμα 2 παρουσιάζονται οι χρονοσειρές του δείκτη SPI για την υποπεριοχή της Λάρισας. Παρόμοια αποτελέσματα εμφανίζονται και στις άλλες υποπεριοχές.



Σχήμα 2. Χρονοσειρές των τιμών του δείκτη SPI για την υποπεριοχή της Λάρισας για χρονικές κλίμακες (α) 1-μήνα, (β) 3-μηνών, (γ) 6-μηνών, (δ) 9-μηνών και (ε) 12-μηνών.

3.2. Μέθοδος καταβιβασμού κλίμακας «Δέλτα»

Η μέθοδος βασίζεται στη σύγκριση των μέσων μηνιαίων τιμών της βροχόπτωσης που εκτιμούνται από τα GCMs για την περίοδο 1960-90 και τις δύο μελλοντικές περιόδους 2020-2050 και 2070-2100 για τα δύο κοινωνικοοικονομικά σενάρια SRES A2 και SRES B2 [1]. Αρχικά, υπολογίζεται η μηνιαία ποσοστιαία διαφορά μεταξύ της εκτιμημένης βροχόπτωσης από το GCM και στο επίπεδο της χωρικής του διακριτοποίησης, για την ιστορική και για τις δύο μελλοντικές περιόδους. Το ποσοστό αυτό χρησιμοποιείται στη συνέχεια για τη δημιουργία μελλοντικών σεναρίων βροχόπτωσης, εφαρμόζοντας την μηνιαία ποσοστιαία διαφορά στο επίπεδο των επιφανειακών δεδομένων [5]. Δηλαδή, το ποσοστό της διαφοράς των μηνιαίων μέσων που προέκυψε από την επεξεργασία των δεδομένων με τη μέθοδο καταβιβασμού κλίμακας Δέλτα χρησιμοποιήθηκε για τη μεταβολή των χρονοσειρών της παρατηρούμενης επιφανειακής βροχόπτωσης για την περίοδο 1960-93 ανάλογα με τις προβλέψεις του μοντέλου παγκόσμιας κυκλοφορίας GCM δηλαδή αύξηση σε αντίστοιχη αύξηση και μείωση σε αντίστοιχη μείωση. Με τον τρόπο αυτό δημιουργήθηκαν συνθετικές χρονοσειρές βροχόπτωσης χωρίς να προκληθεί μεταβολή της διακύμανσης της βροχόπτωσης αφού μεταβλήθηκαν οι τιμές όλες ανάλογα με την αύξηση ή την μείωση του μέσου [6], [7]. Ειδικότερα δημιουργήθηκαν τέσσερις συνθετικές μελλοντικές περίοδοι βροχόπτωσης, δύο για κάθε μελλοντική περίοδο και για κάθε κοινωνικοοικομικό σενάριο SRES A2 και SRES B2.

3.3. Προσαρμογή στατιστικής κατανομής

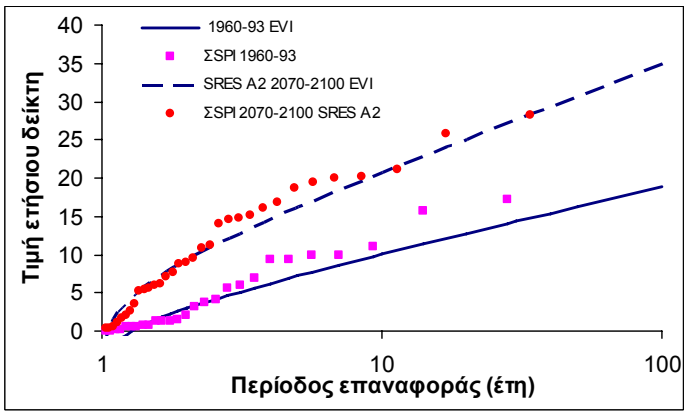
Η εκτίμηση του ετήσιου δείκτη SPI, έγινε με την άθροιση των αρνητικών τιμών του δείκτη (ξηροί μήνες) ανά υδρολογικό έτος και ανά κλάση και πολλαπλασιασμό του αθροίσματος με την πιθανότητα εμφάνισης ξηρασίας για κάθε έτος. Ο υπολογισμός της ετήσιας πιθανότητας εμφάνισης ξηρασίας εκτιμήθηκε διαιρώντας τον αριθμό των μηνών του έτους που παρουσιάζουν αρνητικές τιμές SPI με το πλήθος των μηνών του έτους [8],

[9]. Λήφθηκε έτσι, η *σταθμισμένη ετήσια αθροιστική δριμύτητα ξηρασίας(ΣSPI)*. Με την ανάλυση αυτή κάθε γεγονός ξηρασίας κατανέμεται ομαλά στο συγκεκριμένο έτος, αποφεύγοντας τις ασυνέχειες, η δε διάρκεια των ξηρών γεγονότων εντός του συγκεκριμένου έτους λαμβάνεται υπόψη.

Για κάθε μία παραγόμενη χρονοσειρά τιμών του ετήσιου σταθμισμένου δείκτη SPI διάρκειας 1, 3, 6, 9 και 12 μηνών προσαρμόστηκε η κατανομή Extreme Value I ή Gumbel: Οι απόλυτες τιμές των δεδομένων ανά κλάση κατατάχθηκαν κατά φθίνουσα σειρά. Υπολογίστηκε για κάθε μία από αυτές η περίοδος επαναφοράς με βάση τον τύπο του Weibull:

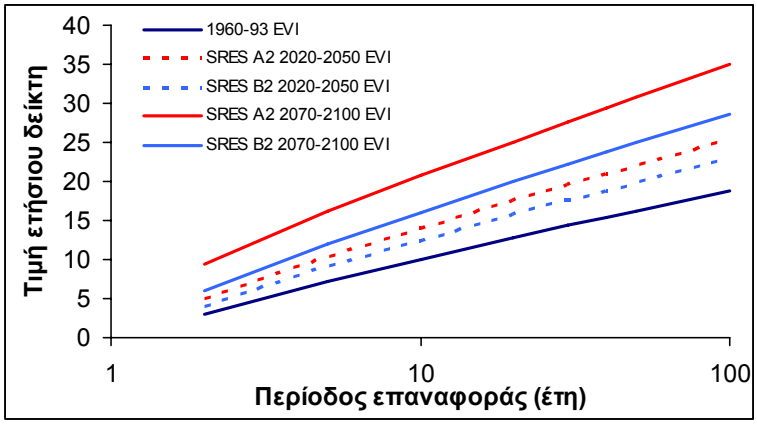
$$T = \frac{n+1}{m} \qquad (1)$$

όπου T η περίοδος επαναφοράς, n το πλήθος των παρατηρήσεων του κάθε δείγματος και m η τάξη κάθε μεγέθους. Στη συνέχεια εξετάστηκε η προσαρμογή της θεωρητικής κατανομής Extreme Value I (EVI, Gumbel). Η διαδικασία αυτή εφαρμόστηκε τόσο για τα δεδομένα της ιστορικής περιόδου όσο και τα αντίστοιχα δεδομένα των συνθετικών μελλοντικών περιόδων, της μεσοπρόθεσμης περιόδου, 2020-2050, και της μακροπρόθεσμης περιόδου, 2070-2100, και για τα κοινωνικοοικονομικά σενάρια SRES A2 και B2. Το Σχήμα 3 δείχνει την προσαρμογή της θεωρητικής κατανομής στις ετήσιες τιμές του σταθμισμένου δείκτη για την υποπεριοχή του Αλή Εφέντη. Από την εξέταση των αποτελεσμάτων για όλες τις χρονικές κλίμακες και για όλες τις υποπεριοχές κρίθηκε ότι η EVI προσαρμόζει ικανοποιητικά όλα τα δεδομένα και για όλα τα μελλοντικά κοινωνικοοικονομικά σενάρια *(Σχήμα.3)*.



Σχήμα 3. Προσαμογή της EVI στις μέγιστες ετήσιες τιμές του ΣSPI χρονικής κλίμακας 6-μηνών για την ιστορική (1960-1990) και για την μακροπρόθεσμη (2070-2100) περίοδο και σενάριο SRES A2

Εφαρμογή της παραπάνω μεθοδολογίας για τα δύο κοινωνικοοικονομικά σενάρια και τις δύο μελλοντικές περιόδους έδειξε ότι η δριμύτητα ξηρασίας αυξάνει για κάθε υποπεριοχή. Επιπλέον το σενάριο SRES B2 εκτιμά λιγότερο ακραία γεγονότα ξηρασίας σε σχέση με το σενάριο SRES A2. Στο Σχήμα 4 παρουσιάζονται οι προσαρμοσμένες EVI για την υποπεριοχή του Αλή Εφέντη. Παρόμοια αποτελέσματα εμφανίζονται και στις άλλες υποπεριοχές.



Σχήμα 4. Σύγκριση της προσαρμοσμένης EVI στις μέγιστες ετήσιες τιμές του ΣSPI χρονικής κλίμακας 6-μηνών για την ιστορική περίοδο, και τις δύο μελλοντικές περιόδους 2020-2050 και 2070-2100 στην υποπεριοχή Αλή Εφέντη

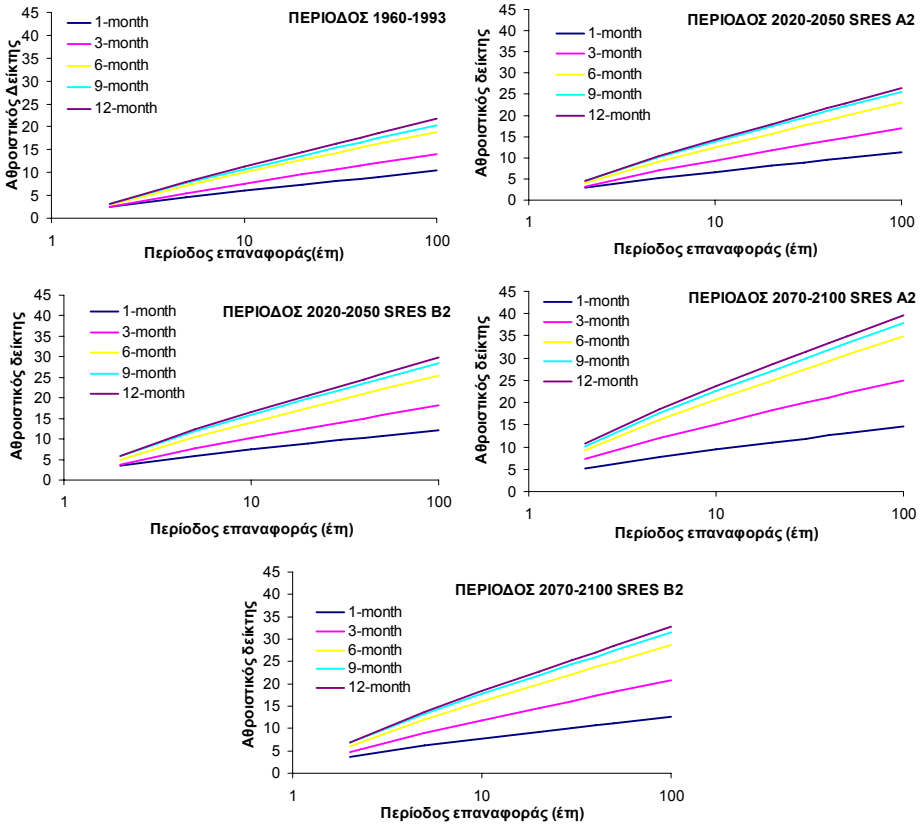
4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Από την προσαρμοσμένη EVI για κάθε χρονική κλίμακα και κάθε υποπεριοχή έγινε εκτίμηση των ετήσιων σταθμισμένων δεικτών ξηρασίας για περιόδους επαναφοράς 2, 5, 10, 20, 30, 40, 50 και 100 ετών. Οι καμπύλες αυτές περιγράφουν τις σχέσεις Δριμύτητας ξηρασίας-Χρονικής κλίμακας-Περιόδου επαναφοράς σε κάθε υποπεριοχή. Στο Σχήμα 5 φαίνονται οι καμπύλες Δριμύτητας ξηρασίας-Χρονικής κλίμακας-Περιόδου επαναφοράς για τον Αλή Εφέντη. Θα πρέπει να τονιστεί πώς η παράμετρος της διάρκειας είναι ενσωματωμένη στην δριμύτητα της ξηρασίας αφού χρησιμοποιήθηκε ο ετήσιος σταθμισμένος αθροιστικός δείκτης. Αρκετά περιστατικά ξηρασίας κυρίως μικρής διάρκειας και ήπιας δριμύτητας έχουν ενσκήψει στο υδατικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας, εκτός από δύο περιόδους (1976-77 και 1988-93) εκτεταμένης ξηρασίας σημαντικής δριμύτητας[10]. Από τα αποτελέσματα του SPI 12-μηνών προκύπτει ότι υποπεριοχές που γειτνιάζουν είχαν παρόμοιο αριθμό και ένταση γεγονότων ξηρασίας κάτι που είναι αναμενόμενο αφού δέχονται σχεδόν την ίδια μετεωρολογική επίδραση.

Είναι χαρακτηριστικό ότι τα εντονότερα περιστατικά ξηρασίας εκτιμήθηκαν για τη Νότια υπολεκάνη και τη λεκάνη της Κάρλας ενώ τα ηπιότερα περιστατικά εκτιμήθηκαν για την υπολεκάνη της Σαρακίνας και της Πύλης, δύο περιοχές που συνορεύουν. Ακόμη πρέπει να αναφερθεί ότι στο βορειοδυτικό τμήμα της λεκάνης απορροής της Θεσσαλίας στο οποίο ανήκουν οι υπολεκάνες της Πύλης, του Μουζακίου, της Σαρακίνας και του Αλή Εφέντη εμφανίστηκαν ήπια περιστατικά κυρίως λόγω του μεγάλου υψομέτρου αλλά και εξαιτίας του γεγονότος ότι η περιοχή αυτή είναι η υγρότερη της Θεσσαλίας και από αυτή πηγάζει ο Πηνειός ποταμός. Αντίθετα, στο κεντρικότερο τμήμα της Θεσσαλίας που αποτελείται από την Νότια υπολεκάνη, την υπολεκάνη της Λάρισας, της Μαγνησίας και της Κάρλας είναι περισσότερο αισθητά τα γεγονότα ξηρασίας αφού η επιρροή του ποταμού στην περιοχή αυτή είναι περιορισμένη. Με βάση τα αποτελέσματα της μεθόδου Δέλτα έγινε δυνατή η μελέτη της συχνότητας των περιστατικών σε κάθε υπολεκάνη και προέκυψε ότι τα περισσότερα περιστατικά προβάλλεται να εμφανιστούν στις λεκάνες της Κάρλας, της Λάρισας, της Μαγνησίας, της Σκοπιάς και του Σμοκόβου. Αντίθετα τα λιγότερα περιστατικά προβάλλεται να εμφανιστούν στην υπολεκάνη Αλή Εφέντη, στην υπολεκάνη του Μουζακίου και της Πύλης. Θα πρέπει να τονιστεί ότι ύστερα από τη μελέτη των τιμών του δείκτη προέκυψε ότι η ένταση των γεγονότων κυμαίνεται στα ίδια

επίπεδα περίπου για όλες τις υπολεκάνες χωρίς να διαφαίνεται κάποια σημαντική διαφορά για το ποιες περιοχές έχουν μεγαλύτερο ή μικρότερο βαθμό κινδύνου.

Είναι σαφές ότι τα περιστατικά ξηρασίας που προβλέπεται να εμφανιστούν στο μέλλον μέσα από τα αποτελέσματα αυτής της εργασίας εμφανίζουν αύξηση της δριμύτητας και της συχνότητας σε σχέση με την ιστορική περίοδο 1960-90. Είναι χαρακτηριστικό ότι η περίοδος 2020-50 αποτελεί μια μεσοπρόθεσμη περίοδο και με βάση τα δύο σενάρια κλιματικής αλλαγής που χρησιμοποιήθηκαν διαφαίνεται μια μέτρια αύξηση των περιστατικών ξηρασίας αλλά και της δριμύτητας τους [11]. Είναι πολύ πιθανό να δημιουργηθούν σημαντικά προβλήματα τόσο στους επιφανειακούς όσο και στους υπόγειους υδατικούς πόρους της περιοχής που μελετήθηκε. Στη συνέχεια η δεύτερη μελλοντική περίοδος που εξετάστηκε δείχνει σαφή πολλαπλασιασμό των συμβάντων ξηρασίας και εκρηκτική αύξηση της δριμύτητας τους, προβάλλει ως πολύ πιο κρίσημη περίοδος για τους υδατικούς πόρους της περιοχής και αποτελεί σημαντικό αποτέλεσμα της επικείμενης κλιματικής αλλαγής.



Σχήμα 5. Καμπύλες δριμύτητας ξηρασίας – διάρκειας – συχνότητας για δεδομένα παρατήρησης και συνθετικές μελλοντικές χρονοσειρές και σενάρια για την υποπεριοχή Αλή Εφέντη.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στα πλαίσια της εργασίας αυτής μελετήθηκε διεξοδικά τόσο η ένταση όσο και η δριμύτητα της ξηρασίας καθώς και οι αντίστοιχες μεταβολές που προκαλούνται από την

ενδεχόμενη κλιματική αλλαγή. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι το κεντρικό τμήμα της Θεσσαλίας προβάλλεται ως το πιθανότερο να επηρεαστεί από τις κλιματικές αλλαγές με αύξηση της έντασης, της συχνότητας αλλά και της δριμύτητας των περιστατικών ξηρασίας, σε αντίθεση με τα βορειότερα τμήματα του υδατικού διαμερίσματος που φαίνεται ότι θα πληγούν λιγότερο. Θα πρέπει να τονιστεί ότι οι μεθοδολογίες στατιστικού καταβιβασμού κλίμακας καθώς και τα αποτελέσματα των GCMs περιλαμβάνουν την συνιστώσα της αβεβαιότητας της διαδικασίας εκτίμησης των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής. Κρίνεται, λοιπόν, σκόπιμη η περαιτέρω ανάλυση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στη ξηρασία με τη χρήση πιο αξιόπιστων ή πιθανοθεωρητικών μεθόδων καταβιβασμού κλίμακας καθώς και των αποτελεσμάτων περισσότερων μοντέλων παγκόσμιας κυκλοφορίας (GCMs) ώστε να υπάρχει πιο ολοκληρωμένη ανάλυση των αποτελεσμάτων και των επιπτώσεων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. IPCC, 2001. Climate Change 2001 - The Scientific Basis. Cambridge University Press, UK., 881 pp.
2. McKee T.B., Doesken N.J. and Kleist J. 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. Preprints, Eighth Conference on Applied Climatology, Anaheim, CA, Am. Meteor. Soc., 179-184.
3. McKee, T.B., Doesken, N.J., and Kleist, J. 1995. Drought monitoring with multiple time scales, Preprints, 9th Conference on Applied Climatology, Dallas, TX, Amer. Meteor. Soc., 233-236.
4. Hayes, M. J., 2000. Revisiting the SPI: CIarifying the Process', Drought Network News (Newsletter of IDIC αnd NDMC), 12(1): 13-14.
5. IPCC, 1996. Climate Change 1995: Impacts, Adaptions and Mitigation of Climate Change: Scientific- Technical Analyses, Cambridge University Press, Cambridge Contribution of Working Group I to the Second Assessment Report of the Intergo-vernmenta1 Panel on Climate Change.
6. Loukas A., Vasiliades L., Dalezios N.R.. 2002. Potential climate change impacts on flood producing mechanisms in southern British Columbia, Canada using the CGCMa1 simulation results. J. Hydrol., 25(1-4): 163-188.
7. Morrison J., Quick M.C., Foreman M.G.G., 2002. Climate change in the Fraser River watershed: flow and temperature projections. J. Hydrol., 263: 230-244.
8. Kothavala, Z. 1999. The Duration and Severity of Drought Over Eastern Australia Simulated by a Coupled Ocean-atmosphere GCM with a Transient Increase in CO2." Environmentαl Modeling & Software 14: 243-252.
9. Loukas A. and Vasiliades L. 2004. Probabilistic analysis of drought spatiotemporal characteristics in Thessaly Region, Greece. Natural Hazards and Earth System Sciences, 4: 719-731.
10. Loukas, A., Mylopoulos, N. and Vasiliades, L. 2007. A modeling system for the evaluation of water resources management strategies in Thessaly, Greece. Wαter Resour. Manαge., DOI 10.1007/s11269-006-9120-5.
11. Loukas, A., Vasiliades, L. and J. Jabiras, 2005. Response of drought to climate change in Thessaly, Greece. *Proc. 6th Int. Conf. EWRA "Sharing a common vision for our water resources",* Menton, France, September 2005.

Ενότητα 6:

Περιβάλλον

(139)

ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΞΥΛΟΥ ΜΕ ΕΛΚΥΣΤΗΡΕΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΗ ΤΩΝ ΔΑΣΙΚΩΝ ΕΔΑΦΩΝ

Α. Καραγιάννης[α], Ε. Λάμπου[β] και Π. Καραρίζος[γ]
Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Σχολή Δασολογίας & Φυσ. Περιβάλλοντος,
Τομέας Δασοτεχνικών & Υδρονομικών Έργων, Τ.Κ. 54124 Θεσ/νίκη
[α]eakarag@for.auth.gr, [β]elampou@for.auth.gr, [γ]pkarariz@for.auth.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εργασία αυτή, ύστερα από τη συγκέντρωση στοιχείων από παραγωγικά δασαρχεία της χώρας μας, αναλύθηκε η εξέλιξη των ελκυστήρων μετατόπισης του ξύλου την τριακονταετία 1976 – 2005, μετρήθηκε η αντοχή των εδαφών σε σχέση με την περιεχόμενη υγρασία τους και το μητρικό πέτρωμα και υπολογίσθηκε η πίεση την οποία ασκούν στο έδαφος οι τροχοί των διαφόρων τύπων ελκυστήρων μετατόπισης του ξύλου. Τέλος, προτείνονται μέτρα για τη μείωση της επιβάρυνσης των εδαφών, λόγω της κίνησης των ελκυστήρων, με σκοπό την καλύτερη προστασία των δασικών οικοσυστημάτων και του φυσικού περιβάλλοντος γενικότερα .

WOOD'S SKIDDING BY TRACTORS AND DISTRESS OF FOREST SOILS

A. Karagiannis [a], E. Lampou[b] and P. Kararizos[c]
Aristotle University of Thessaloniki, Faculty of Forestry and Natural Environment,
Department of Forest & Water Engineering, 54124 Thessaloniki
[a]eakarag@for.auth.gr, [b]elampou@for.auth.gr, [c]pkarariz@for.auth.gr

ABSTRACT

In this paper, after the data concentration from productive forest ranger districts of our country, it is analyzed the development of tractors by wood skidding in the years 1976-2005, measured the resistance of the soil in relation to their contained moisture and the native rock, investigated the pressure that the wheels of different types of tractors exert to the soil. Finally, there are suggested ways of reducing the distress upon the soil because of the movement of the tractors, for the better protection of forest ecosystems and generally of the natural environment.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι ελκυστήρες αποτελούν, για τα ελληνικά δάση, το κυριότερο μέσο μετατόπισης του ξύλου εδώ και 60 χρόνια.

Στη Δασοπονία το ενδιαφέρον καταρχήν στράφηκε περισσότερο στους ερπυστριοφόρους παρά στους τροχοφόρους ελκυστήρες, επειδή [4]:

1. Παρείχαν αυξημένη ευστάθεια λόγω των κινδύνων ανατροπής στις λοφώδεις και ορεινές περιοχές και μπορούσαν να υπερνικήσουν καλύτερα τις εδαφικές και τοπογραφικές δυσκολίες
2. Προκαλούσαν μικρότερη συμπίεση του εδάφους, όπου αυτό απαιτούνταν για προστατευτικούς λόγους
3 Μπορούσαν να εργασθούν σε εδάφη χαλαρά, τυρφώδη ή βαλτώδη, χωρίς ιδιαίτερα προβλήματα, λόγω της μικρής πίεσης που ασκούσαν
4. Ήταν πιο ευέλικτοι και βοηθούσαν στον ακριβέστερο έλεγχο κατά την οδήγηση
5. Μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν και σε άλλες βαριές εργασίες, όπως χωματουργικές εργασίες, εκχερσώσεις κ.λ.

Παρά τα σοβαρά πλεονεκτήματα των ερπυστριοφόρων ελκυστήρων σύντομα αποδείχθηκε ότι η χρησιμοποίησή τους στο δάσος είχε πολλά μειονεκτήματα εξαιτίας:

1. Του υψηλότερου κόστους αγοράς και συντήρησης
2. Της ανάπτυξης πολύ χαμηλών ταχυτήτων (6-10 km/h)
3. Των δυσχερειών που παρουσιάζουν κατά τις μετακινήσεις σε δημόσιους δρόμους
4. Της ανάπτυξης τροχοφόρων ελκυστήρων με πλεονεκτήματα που προσεγγίζουν τα πλεονεκτήματα των ερπυστριοφόρων.

Οι τροχοφόροι ελκυστήρες αποτελούν σήμερα για τη Γεωργία και τη Δασοπονία τα πλέον εύχρηστα μηχανήματα έλξης και κίνησης.

Στη χώρα μας το σύνολο των διαξονικών ελκυστήρων ανέρχεται σήμερα περίπου στις 330.000. Κάθε χρόνο αγοράζονται περίπου 10.000 ελκυστήρες διαξονικοί, είτε για αντικατάσταση των υπαρχόντων ή για πρώτη φορά. Η κατανομή της ισχύος στους νεοεισερχόμενους ελκυστήρες δείχνει ότι τα τελευταία χρόνια υπάρχει συνεχής αύξηση ισχύος. Το έτος 1989 το 39% των ελκυστήρων ήταν ισχύος μέχρι 50 PS, το 39% από 50-70 PS και το υπόλοιπο 22% ισχύος μεγαλύτερης από 70 PS, ενώ το 1970 ήταν μόνο το 6% και το 1960 μόνο το 2% ισχύος μεγαλύτερης από 70 PS [8].

Η αύξηση του μεγέθους των ελκυστήρων σε όλες τις χώρες είχε σαν αποτέλεσμα τη μείωση της διάρκειας απασχόλησής τους στις 800 περίπου ώρες ετησίως. Αν και δεν έχουν γίνει έρευνες που να δείχνουν το βαθμό απασχόλησης των ελκυστήρων στη χώρα μας, φαίνεται ότι η μέση απασχόληση δεν θα πρέπει να ξεπερνά τις 550-600 ώρες ετησίως με κόστος φυσικά υψηλό. Από μελέτες που έχουν γίνει βρέθηκε ότι οι ελκυστήρες εργάζονται με χαμηλό κόστος, όταν η ετήσια απασχόλησή τους είναι περίπου 1.000-1.200 ώρες [8].

Το υψηλό κόστος των ελκυστήρων, το οποίο προκύπτει αφενός από τη χαμηλή μέση ετήσια απασχόλησή τους στις γεωργικές εργασίες και αφετέρου από την περίσσεια ισχύος (λόγω αγοράς ελκυστήρων μεγάλης ιπποδύναμης), μπορεί να μειωθεί εν μέρει με τη χρησιμοποίηση των ελκυστήρων και στη μετατόπιση του ξύλου, εφόσον βέβαια εξοπλιστούν κατάλληλα με τα απαραίτητα παρελκόμενα και εκπαιδευτούν κατάλληλα οι χειριστές τους για την εκτέλεση της δύσκολης και επικίνδυνης εργασίας της μετατόπισης του ξύλου.

Η κίνηση όμως των τροχοφόρων ελκυστήρων, με σκοπό την εξυπηρέτηση της μετατόπισης του ξύλου, προκαλεί σημαντικές καταπονήσεις στο φυσικό έδαφος, η έκταση των οποίων εξαρτάται από το είδος, την αντοχή και την κατάσταση του εδάφους,

από το είδος, το μέγεθος και τη συχνότητα κίνησης των ελκυστήρων, καθώς και από το είδος και το μέγεθος των φορτίων [1].

Στην εργασία αυτή, αναλύθηκε η εξέλιξη των ελκυστήρων μετατόπισης του ξύλου, σε 38 παραγωγικά δασαρχεία της χώρας μας, την τριακονταετία 1976 – 2005, μετρήθηκε η αντοχή των εδαφών σε σχέση με την περιεχόμενη υγρασία τους και το μητρικό πέτρωμα και υπολογίσθηκε η πίεση την οποία ασκούν στο έδαφος οι τροχοί των διαφόρων τύπων ελκυστήρων μετατόπισης του ξύλου. Τέλος, προτείνονται μέτρα για τη μείωση της επιβάρυνσης των εδαφών, λόγω της κίνησης των ελκυστήρων, με σκοπό την καλύτερη προστασία των δασικών οικοσυστημάτων και του φυσικού περιβάλλοντος γενικότερα .

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

2.1.Υλικά

Για τους σκοπούς της έρευνας χρησιμοποιήθηκαν:

α. Στοιχεία για το ποσοστό του ξύλου που μετατοπίστηκε, σε 38 δασαρχεία (τα πιο παραγωγικά) της χώρας μας, με διάφορα μέσα, τη χρονική περίοδο 1975-2005.

β. Στοιχεία για το είδος, τις κατηγορίες και τα τεχνικά χαρακτηριστικά (βάρος και διανομή στους άξονες, ιπποδύναμη, διαστάσεις ελαστικών), μέσο φορτίο, των ελκυστήρων που χρησιμοποιήθηκαν στα δασικά συμπλέγματα Τραχωνίου-Διποτάμων, Θόλου-Αμισινού, Βορειοανατολικού και Δυτικού Νέστου Δράμας, καθώς και Σμίξης-Αβδέλας-Περιβολίου, Κρανιάς και Σαμαρίνας Γρεβενών.

γ. Το φορητό διεισδυσιόμμετρο FARNELL και το φορητό υγρόμετρο GANN.

δ. Ο γεωλογικός χάρτης των παραπάνω δασικών συμπλεγμάτων

2.2 Μέθοδος έρευνας

Από την επεξεργασία και ανάλυση των παραπάνω στοιχείων προέκυψαν:

α. Το μοντέλο εξέλιξης της μηχανοποίησης της μετατόπισης του ξύλου στη χώρα μας, καθώς και του ποσοστού του ξύλου που μετατοπίστηκε με διάφορα μέσα, τη χρονική περίοδο 1975-2005.

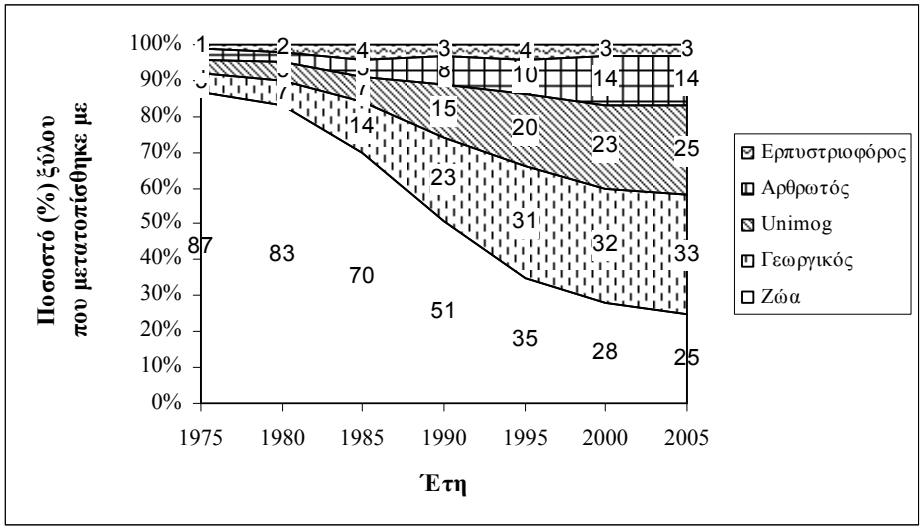
β. Η σχέση μεταξύ της αντοχής του εδάφους, η οποία μετρήθηκε με το φορητό διεισδυσιόμμετρο, και της περιεχόμενης υγρασίας του, η οποία μετρήθηκε με το φορητό υγρόμετρο GANN και αφορούσε την ευαίσθητη και ευδιάβρωτη περιοχή του φλύσχη καθώς και την περιοχή των πυριγενών πετρωμάτων

γ. Η επιβάρυνση (πίεση) που προκαλείται στο έδαφος (πάροδος μετατόπισης) από την κίνηση των ελκυστήρων μετατόπισης του ξύλου, με βάση τη μεθοδολογία του Wästerlund [9]

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

3.1 Μοντέλο εξέλιξης των μέσων μετατόπισης του ξύλου

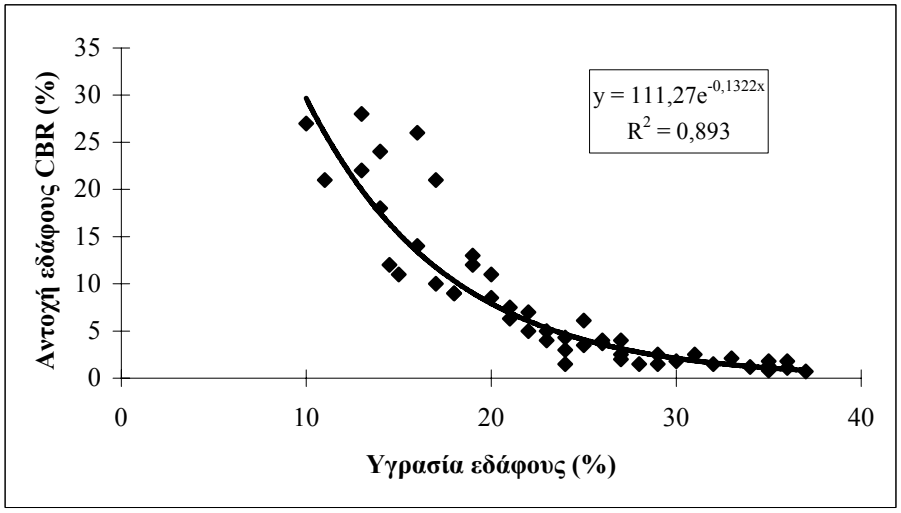
Στο σχήμα 1 φαίνεται η εξέλιξη της μηχανοποίησης καθώς και του ποσοστού του ξύλου που μετατοπίσθηκε με διάφορους τύπους ελκυστήρων, τη χρονική περίοδο 1975-2005.



Σχήμα 1. Εξέλιξη της μηχανοποίησης των εργασιών μετατόπισης του ξύλου, με διάφορους τύπους ελκυστήρων.

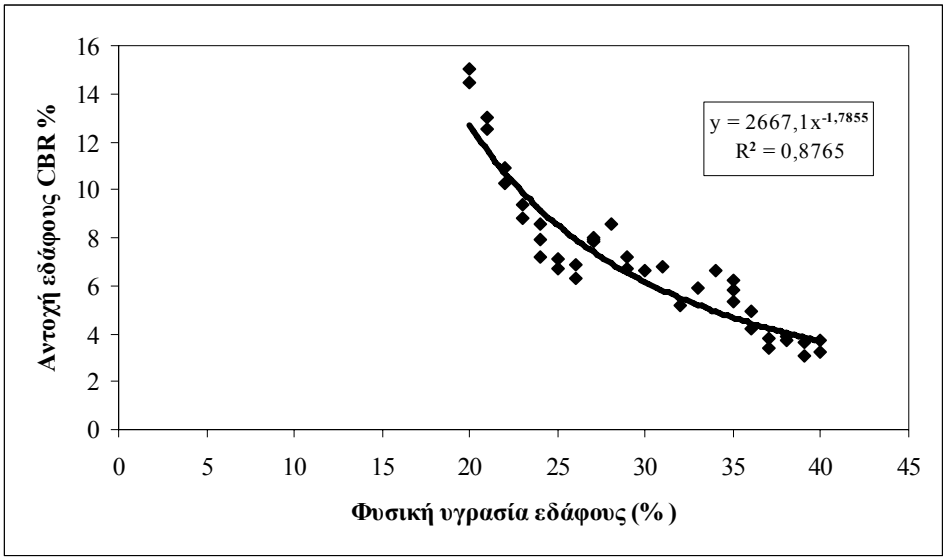
3.2 Σχέση μεταξύ της αντοχής και της υγρασίας του εδάφους

Στο σχήμα 2 φαίνεται η σχέση μεταξύ της αντοχής και της υγρασίας του εδάφους (βάθους 17 cm) για την περιοχή του φλύσχη [3].



Σχήμα 2. Σχέση μεταξύ της αντοχής και της υγρασίας του εδάφους στο Φλύσχη.

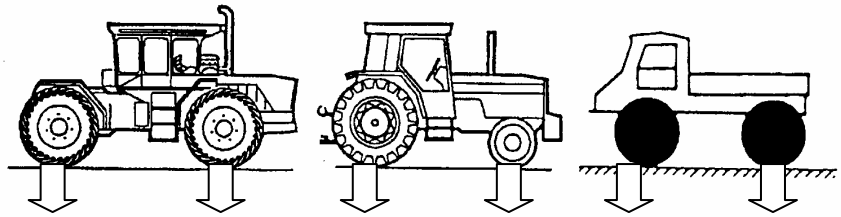
Στο σχήμα 3 φαίνεται η σχέση μεταξύ της αντοχής και της υγρασίας του εδάφους (βάθους 17cm) για την περιοχή των πυριγενών πετρωμάτων [3].



Σχήμα 3. Σχέση μεταξύ της αντοχής και της υγρασίας του εδάφους στην περιοχή των πυριγενών πετρωμάτων.

3.3 Επιβάρυνση (πίεση) του εδάφους από την κίνηση των ελκυστήρων μετατόπισης του ξύλου

Στο σχήμα 4 φαίνεται η πίεση που ασκούν στο έδαφος οι διαφόρων τύπων ελκυστήρες μετατόπισης του ξύλου, ενώ στον πίνακα 1 φαίνονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά των ελκυστήρων και υπολογίζεται η ασκούμενη πίεση στο έδαφος.



66-78 kPa 45-50 kPa 45-50 kPa 91-108 kPa 57-65 kPa 62-69 kPa

Σχήμα 4. Πίεση που ασκείται στο έδαφος από τους τροχούς των ελκυστήρων

5. ΣΥΖΗΤΗΣΗ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ -ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Με βάση τα αποτελέσματα της έρευνας προκύπτουν τα εξής:

1. Ο βαθμός μηχανοποίησης των εργασιών μετατόπισης του ξύλου στην πατρίδα μας αυξάνει χρόνο με το χρόνο, καθώς τα μηχανήματα (ελκυστήρες διαφόρων τύπων) αντικαθιστούν τα ζώα έλξεως, ενώ δεν χρησιμοποιούνται οι σχοινιογερανοί για την εναέρια μεταφορά του ξύλου σε δύσκολες συνθήκες.

Πίνακας 1. Τεχνικά στοιχεία των κυριότερων τύπων ελκυστήρων μετατόπισης του ξύλου και υπολογισμός της πίεσης που ασκείται στο έδαφος από τους τροχούς.

Τεχνικά στοιχεία των ελκυστήρων μετατόπισης του ξύλου και πίεση που ασκείται στο έδαφος από τους τροχούς	Δασικοί ελκυστήρες	Γεωργικοί ελκυστήρες	Ελκυστήρας Unimog
Βάρος (kg)	6.500-7.000	2.800-3.200	4.500-5.200
Κατανομή βάρους (kg)			
εμπρός:	60%	33%	60%
πίσω:	40%	67%	40%
Πλάτος ελαστικών b (cm)	44-52	εμπρός: 25-30 πίσω: 45-50	40-46
Διάμετρος ελαστικών d (cm)	140-148	εμπρός: 75-88 πίσω: 117-128	95-105
Πλάτος ελκυστήρα (cm)	230-240	180-192	207-215
Ιπποδύναμη PS/U/min	80-90	55-68	90-105
Όγκος φορτίου (m^3)	2-3	1-1,5	2-2,5
Βάρος φορτίου (kg)	1.600-2400	800-1.200	1.600-2.000
Επιφάνεια επαφής (d/2) x b (cm^2)			
εμπρός:	3.080-3.840	937,5-1.320	
πίσω:	3.080-3.840	2.632-3.200	1.900-2.415
Πίεση εδάφους (kg/cm^2 ή kPa)			
εμπρός:	0,66-0,78 ή 66-78	0,91-1,08 ή 91-108	0,57-0,65 ή 57-65
πίσω:	0,45-0,50 ή 45-50	0,44-0,49 ή 44-49	0,62-0,69 ή 62-69

2. Η αντοχή του εδάφους μειώνεται με την αύξηση της περιεχόμενης υγρασίας. Κρίσιμη για την αντοχή του εδάφους (CBR ≤3%), στην περιοχή του φλύσχη, είναι όταν η υγρασία είναι μεγαλύτερη από 30%. Τα ίδια αποτελέσματα δίνει και ο Schlaghamersky, A. [7] και ο Καραγιάννης [3], για παρόμοια εδάφη στη Γερμανία και στην Ελλάδα αντίστοιχα. Για την περιοχή των πυριγενών πετρωμάτων το όριο της κρίσιμης υγρασίας ανέρχεται στο 45%.

3, Η πίεση την οποία προκαλούν στο έδαφος τα ελαστικά των μηχανημάτων μετατόπισης του ξύλου ανέρχεται για τους γεωργικούς ελκυστήρες από 91-108 και 44-49 kPa για τον εμπρόσθιο και οπίσθιο άξονα αντίστοιχα, για το δασικούς ελκυστήρες ανέρχεται από 66-78 και 45-50 kPa και για τον ελκυστήρα Unimog από 57-65 και 62-69 kPa αντίστοιχα. Η πίεση που ασκούν τα ελαστικά στο έδαφος δεν πρέπει να ξεπερνά το όριο των 50 kPa [6, 10].

4. Η χρησιμοποίηση στη μετατόπιση του ξύλου ελκυστήρων με στενά ελαστικά (γεωργικοί) προκαλεί πίεση στο έδαφος που ανέρχεται σχεδόν στο διπλάσιο πάνω από τα επιτρεπτά όρια.

Σύμφωνα με τα παραπάνω συμπεράσματα προτείνονται τα παρακάτω:

1. Όταν, στην περιοχή του φλύσχη (αργιλώδη εδάφη), η υγρασία του εδάφους είναι μεγαλύτερη από 30% και στην περιοχή των πυριγενών πετρωμάτων (πηλώδη έως αργιλλοπηλώδη εδάφη) μεγαλύτερη από 45%, θα πρέπει να αποφεύγεται η κίνηση ελκυστήρων λόγω μειωμένης αντοχής του εδάφους.

2. Η εισαγωγή εναέριων μέσων μετατόπισης του ξύλου στη χώρα μας, όπως των κινητών σχοινιογερανών, σε δύσκολες εδαφικές συνθήκες (μικρή αντοχή, μεγάλη

κλίση), μπορεί να δώσει ικανοποιητικά αποτελέσματα, τόσο όσο αφορά την απόδοσή τους, όσο και την προστασία του φυσικού περιβάλλοντος [2].

3. Η χρησιμοποίηση, στη μετατόπιση του ξύλου, γεωργικών ελκυστήρων με στενά ελαστικά (εμπρόσθιοι τροχοί) προκαλεί μεγάλη πίεση στο έδαφος (λόγω της μικρής επιφανείας επαφής), που ανέρχεται πάνω από τα επιτρεπτά όρια. Για τους ελκυστήρες αυτούς προτείνεται η χρησιμοποίηση φαρδιών ελαστικών [6].

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Karagiannis, E., Kararizos, P., 2001. Ökologische Folgerungen der Mechanisierung von Holzrückearbeiten in Griechenland. 35 Internationales Wissenschaftliches Symposium (FORMEC 2001), S. 97-107, Brno, Tschechische Republik.
2. Καραγιάννης, Ε., 2004. Αξιολόγηση των μέσων μετατόπισης του ξύλου με βάση οικονομικοτεχνικά και οικολογικά κριτήρια. 1ο Πανελλήνιο Περιβαλλοντικό Συνέδριο που διοργανώθηκε από το Τμήμα Δασολογίας και Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων του Δ.Π. Θράκης, Πρακτικά Συνεδρίου, σελ. 840-849, Εκδότης ΓΕΩΤ.Ε.Ε., Θεσσαλονίκη.
3. Καραγιάννης, Ε., Καραγιάννης, Κ., Καραρίζος, Π., 2005. Οι συνέπειες της επίδρασης του νερού στα έργα διάνοιξης των δασών. 12ο Πανελλήνιο Δασολογικό Συνέδριο που διοργανώθηκε στη Δράμα από τη Δασολογική Εταιρεία, Πρακτικά Συνεδρίου, Θεσσαλονίκη (Υπό δημοσίευση).
4. Καραγιάννης, Ε., 2006. Διάνοιξη δάσους και Μεταφορά ξύλου. Πανεπιστημιακές Παραδόσεις, Υπηρεσία Εκδόσεων Α.Π.Θ., σελ. 187.
5. Matthies, D., 1997, Perspektiven des physikalisch – mechanischen Bodenschutzes in Forstwirtschaft. In: Schriftenreihe der Forstwiss. Fakultät der Universität München und Bayerischen Anstalt für Wald und Forstwirtschaft, Nr. 165: 34-47.
6. Nipkow, F.,1983 Vorteile von Breitreifen für Forstschlepper auf schlecht tragfähigen Waldböden. Forstw. Cbl., 102, S. 126-142.
7. Schlaghamersky, A., 1991. Bericht zum Forschungsvorhaben über die "Entwicklung von Methoden und einfachen Geräten zur Bestimmung der Oberflächentragfähigkeit von Waldböden zum Zwecke der Minimierung von Boden- und Baumwurzelschäden, die durch den Einsatz von Holzrückefahrzeugen- und Holzerntemaschinen entstehen können". Fachhochschule Hildesheim-Holzminden, Fachbereich Forstwirtschaft, in Göttingen, S. 88.
8. Τσατσαρέλης, Κ., 1997. Γεωργικοί ελκυστήρες. Εκδόσεις Γιαχούδη, Θεσσαλονίκη.
9. Wästerlund, I., 1989. Torque distribution in a forwarder with mechanical 8WD soil mechanics in forestry. In: FAO-ECE-ILO: Seminar on the impact of mechanization of forest operations on the soil, Belgium.

(159)

ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΛΥΜΑΤΩΝ ΣΕ ΟΙΚΟΛΟΓΙΚΑ ΕΥΑΙΣΘΗΤΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ. Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΟΥ ΔΗΜΟΥ ΠΡΕΣΠΩΝ

Γ. Σαπουντζάκης[1], Μ. Γιαμούρη[1] , Α. Παπαγιαννοπούλου[1], Φ. Παπαδόπουλος[2] και Γ. Παρισόπουλος[1]

[1]ΕΘΙΑΓΕ, Ινστιτούτο Γεωργικών Μηχανών και Κατασκευών, Λεωφόρος Δημοκρατίας 61, Άγιοι Ανάργυροι Αττικής, Τ.Κ. 135 61, e-mail: iamc@ath.forthnet.gr

[2]ΕΘΙΑΓΕ, Ινστιτούτο Εδαφολογίας Θεσσαλονίκης, Ελληνικής Γεωργικής Σχολής Θεσσαλονίκης, Τ.Θ. 435, Τ.Κ. 57001 Θέρμη, e-mail: secretary.ssi@nagref.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εργασία αυτή παρουσιάζεται ο σχεδιασμός τριών Εγκαταστάσεων Επεξεργασίας Λυμάτων (Ε.Ε.Λ.) με φυσικά συστήματα για οκτώ μικρούς οικισμούς του Δήμου Πρεσπών. Η επιλογή της μεθόδου επεξεργασίας βασίσθηκε στην απαίτηση σεβασμού των χαρακτηριστικών της περιοχής και την ανάγκη απλής και μικρού κόστους λειτουργίας. Στα δύο συστήματα συνδυάζονται υγρότοποι κατακόρυφης και οριζόντιας ροής με χρήση βαθιάς αναερόβιας δεξαμενής μόνο στο μεγαλύτερο από αυτά. Το τρίτο σύστημα αποτελείται από αναερόβια δεξαμενή, τρεις δεξαμενές σταθεροποίησης και υγρότοπο οριζόντιας ροής. Σχολιάζονται οι κρίσιμες διαφορές στο σχεδιασμό των τριών έργων.

WASTEWATER TREATMENT PLANTS IN ECOLOGICAL SENSITIVE REGIONS. THE CASE OF PRESPA MUNICIPALITY

G. Sapountzakis[1], M. Giamouri[1], A. Papayianopoulou[1], F. Papadopoulos[2], G. Parissopoulos[1]

[1]NAGREG, Institute of Agricultural Machinery and Constructions, 61 Democratias str, Agii Anargiri Attiki, P.C. 135 61, e-mail: iamc@ath.forthnet.gr

[2]NAGREF, Soil Science Institute of Thessaloniki, P.0. BOX 60435, P.C. 57001 Thermi Thessaloniki, e-mail: secretary.ssi@nagref.gr

ABSTRACT

The design features of three natural wastewater treatment plants accommodating eight small communities of the Prespa municipality are presented. The main reasons for the choice of natural systems were the ecological characteristics of the area and the requirement for simple and low cost operation. Two of the plants are combining vertical and horizontal flow wetlands while a deep anaerobic pond is used as first stage treatment in one of them. The third plant consists of an anaerobic pond, three stabilization ponds and a horizontal flow wetland. The key differences in the design of the three plants are discussed.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η Επεξεργασία Υγρών Αστικών Αποβλήτων με φυσικές μεθόδους σε μικρούς οικισμούς (<5.000 ισοδύναμων κατοίκων) αποτελεί μία ενδιαφέρουσα επιλογή, η οποία στη χώρα μας κερδίζει ολοένα και μεγαλύτερη αποδοχή από την επιστημονική κοινότητα, αλλά και την πολιτεία. Τα κοινά αποδεκτά πλεονεκτήματά τους είναι η απλή και οικονομική λειτουργία τους, το χαμηλό κόστος κατασκευής όταν η αξία της γη είναι μικρή, και η ποιότητα των εκροών, η οποία ικανοποιεί τις Ελληνικές και τις Ευρωπαϊκές απαιτήσεις. Η λανθασμένη αντίληψη ότι η χρήση φυσικών συστημάτων επεξεργασίας απευθύνεται σε χώρες του τρίτου κόσμου, λόγω των απαιτήσεων που έχουν οι μέθοδοι αυτοί σε κλιματολογικές συνθήκες, των οχλήσεων από οσμές και έντομα και της χαμηλής ποιότητας των εκροών, δεν έχει πλέον απήχηση στους επιστημονικούς κύκλους. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί το ομόσπονδο κρατίδιο της Βαυαρίας στη Γερμανία στο οποίο περισσότεροι από το 50% των οικισμών με πληθυσμό μικρότερο των 1.000 ισοδύναμων κατοίκων, που διαθέτουν σύστημα επεξεργασίας των αποβλήτων βασίζονται σε λύσεις που χαρακτηρίζονται με τον όρο «επιστροφή στη φύση», δηλαδή χρήση φυσικών μεθόδων για την επεξεργασία των αποβλήτων [1].

Τα φυσικά συστήματα επεξεργασίας διακρίνονται κυρίως σε δύο μεγάλες κατηγορίες. Στην πρώτη ανήκουν οι μονάδες επεξεργασίας με λίμνες σταθεροποίησης και στη δεύτερη οι μονάδες επεξεργασίας με τεχνητούς υγροτόπους. Οι τεχνητοί υγρότοποι κατηγοριοποιούνται σε τρεις ομάδες ήτοι , σε αυτούς της επιφανειακής ροής, της υπόγειας οριζόντιας ροής και της υπόγειας κατακόρυφης ροής, με τις δύο τελευταίες κατηγορίες να είναι αυτές που απαντώνται συχνότερα τα τελευταία έτη [2], [3], [4], [5]. Στην Ελλάδα οι μελέτες φυσικών συστημάτων επεξεργασίας αστικών αποβλήτων ανέρχονται πλέον σε μερικές δεκάδες, αλλά αυτά που βρίσκονται σε λειτουργία είναι σημαντικά λιγότερα, ενώ αυτά που διαθέτουν συστηματικές μετρήσεις των εισερχόμενων και εξερχόμενων ρυπαντικών φορτίων είναι ακόμα πιο περιορισμένα. Τα αποτελέσματα λειτουργίας από τις μετρήσεις που έγιναν στα πρώτα φυσικά συστήματα που κατασκευάστηκαν είναι ιδιαιτέρως ικανοποιητικά [6].

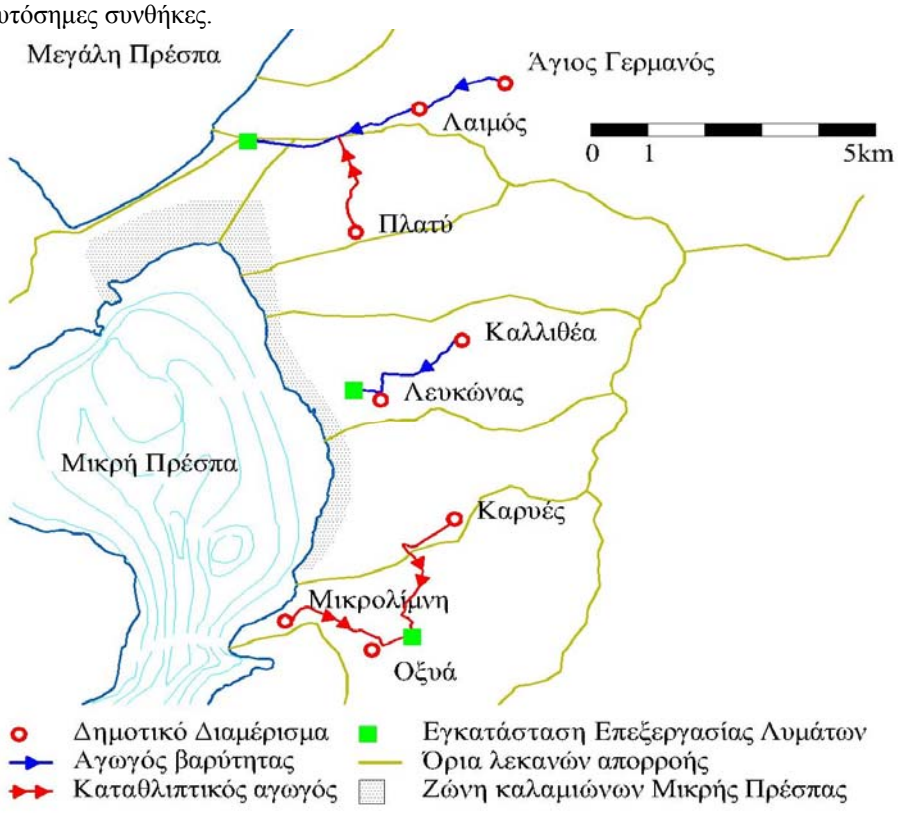
2. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΛΥΜΑΤΩΝ ΣΤΟ ΔΗΜΟ ΠΡΕΣΠΩΝ

Το πλούσιο σε χλωρίδα και πανίδα οικοσύστημα των Πρεσπών έχει χαρακτηριστεί ως Εθνικός Δρυμός από τη δεκαετία του 1970 και προστατεύεται από σχεδόν όλες τις Συμβάσεις και τα Δίκτυα Προστασίας, Εθνικά και Διεθνή, για το περιβάλλον (Ramsar, Natura 2000, κλπ). Παρόλα αυτά τα αστικά λύματα όλων των οικισμών καταλήγουν ανεπεξέργαστα στα ρέματα και από εκεί στις δύο λίμνες των Πρεσπών. Στόχος της εργασίας αυτής είναι να παρουσιάσει την επιλογή της μεθόδου επεξεργασίας, καθώς επίσης και το σχεδιασμό, για την επεξεργασία των αστικών υγρών αποβλήτων σε οκτώ από τους οικισμούς του Δήμου Πρεσπών, που υλοποιήθηκε από το ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε..

Το κριτήριο αλλά ταυτόχρονα και ο βασικός περιορισμός στην επιλογή της μεθόδου ήταν ότι οι μονάδες επεξεργασίας των λυμάτων επρόκειτο να εγκατασταθούν εντός του Εθνικού Δρυμού των Πρεσπών και πλησίον των λιμνών. Συνεπώς έπρεπε να σέβονται τα χαρακτηριστικά του οικοσυστήματος. Ουσιαστικά η επιλογή της μεθόδου επεξεργασίας υπαγορεύθηκε από τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της περιοχής των δύο λιμνών και την απαίτηση για απουσία υπέργειων κτισμάτων και εκτεταμένη χρήση κατασκευών από σκυρόδεμα προς αποφυγή αλλοίωσης της φυσιογνωμίας της περιοχής. Η επιλογή συμβατικού συστήματος επεξεργασίας δεν προκρίθηκε λόγω των κατασκευών από σκυρόδεμα, αλλά και του αυξημένου κόστους κατασκευής και λειτουργίας. Η λύση για κατασκευή φυσικού συστήματος επεξεργασίας πληρούσε όλες τις προϋποθέσεις για την ομαλή ένταξη στο φυσικό περιβάλλον του Δρυμού, καθώς η

απουσία υπέργειων κτισμάτων από σκυρόδεμα δεν διαταράσσει το φυσικό τοπίο. Επιπρόσθετα, η επιλογή ενός συστήματος επεξεργασίας με τεχνητούς υγροτόπους ήταν για τις παραλίμνιες περιοχές απόλυτα συμβατή με το τοπίο της περιοχής που κυριαρχείται από καλαμιώνες συνολικής έκτασης περίπου 5000 στρ.

Η γεωγραφική κατανομή των οκτώ οικισμών δεν ευνοούσε τη συγκέντρωση όλων των λυμάτων σε μία μονάδα, χωρίς σημαντικό κόστος λειτουργίας. Για το λόγο αυτό αποφασίστηκε η κατασκευή τριών μονάδων επεξεργασίας με βάση τη γεωγραφική ομαδοποίηση που παρουσιάζουν οι οκτώ οικισμοί (Σχήμα 1). Το πρώτο έργο επεξεργάζεται τα λύματα από τα Δημοτικά Διαμερίσματα (Δ.Δ.) του Λαιμού, του Αγίου Γερμανού και του Πλατέως, το δεύτερο από τα Δημοτικά Διαμερίσματα της Καλλιθέας και του Λευκώνα και το τρίτο από τα Δημοτικά Διαμερίσματα της Μικρολίμνης και των Καρυών. Οι δύο πρώτες Ε.Ε.Λ. βασίζονται στη μέθοδο των τεχνητών υγροτόπων, ενώ η τρίτη Ε.Ε.Λ. σε συνδυασμό δεξαμενών σταθεροποίησης και τεχνητών υγροτόπων. Η ΕΕΛ Λαιμού - Αγ. Γερμανού - Πλατέως διαφέρει από την ΕΕΛ Καλλιθέας - Λευκώνα ως προς την παρεμβολή αναερόβιας δεξαμενής πριν την τροφοδοσία των κλινών κατακόρυφης ροής. Η λειτουργία των έργων θα δώσει τη δυνατότητα σύγκρισης της αποτελεσματικότητας επεξεργασίας των τριών διαφορετικών μεθόδων υπό σχεδόν ταυτόσημες συνθήκες.



Σχήμα 1: Θέσεις των Ε.Ε.Λ. και των αγωγών μεταφοράς λυμάτων

2.1. Η Ε.Ε.Λ. των Δ.Δ. Λαιμού – Αγίου Γερμανού – Πλατέως

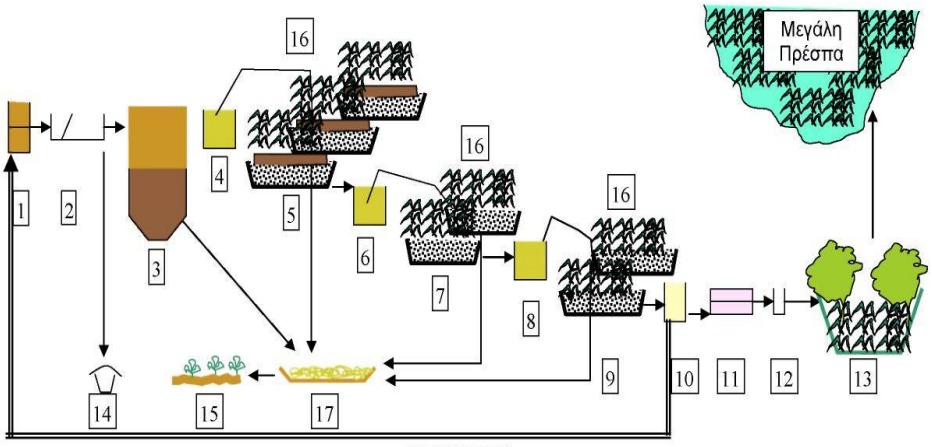
Η θέση που επιλέχθηκε ως η καταλληλότερη για την κατασκευή της εγκατάστασης βρίσκεται σε απόσταση περίπου 250m ανατολικά της Μεγάλης Πρέσπας, στον ισθμό μεταξύ των δύο λιμνών. Εξετάστηκαν και οι δύο τύποι φυσικών συστημάτων ήτοι τεχνητοί υγρότοποι και λίμνες σταθεροποίησης και επιλέχθηκε η μέθοδος των τεχνητών

υγροτόπων, διότι εντάσσονται καλύτερα στο φυσικό περιβάλλον της εγγύς περιοχής. Ο πληθυσμός σχεδιασμού ανέρχεται σε 1.310 ισοδύναμους κατοίκους (ι.κ.), με προοπτική 40ετίας, λαμβάνοντας υπόψη την ετήσια αύξηση του πληθυσμού και την τουριστική ανάπτυξη της περιοχής.

Το έργο ακολουθεί σε γενικές γραμμές τη σχεδιαστική προσέγγιση των Γερμανικών κανονισμών. Τα λύματα από τον αγωγό μεταφοράς μετά την εσχάρωση εισέρχονται σε βαθιά αναερόβια δεξαμενή χωρητικότητας 600m^3 για την πρωτοβάθμια επεξεργασία [8]. Ο μέσος υδραυλικός χρόνος παραμονής υπολογίζεται σε 2 ημέρες. Η δευτεροβάθμια επεξεργασία αποτελείται από δύο στάδια αποτελούμενα από δύο ομάδες των 6 και 4 κλινών κατακόρυφης ροής, οι οποίες είναι φυτεμένες με καλάμια (Phragmites australis). Η συνολική επιφάνεια των κλινών της δευτεροβάθμιας επεξεργασίας και των δύο σταδίων ανέρχεται σε 2,5m^2/ικ. Η τροφοδοσία των κλινών, λόγω της απουσίας κλίσεων του εδάφους, γίνεται με τη χρήση αντλιών υψηλής παροχής και μικρού μανομετρικού για τον ταχύ πλημμυρισμό των κλινών, ώστε το σύνολο της επιφάνειας να κατακλύζεται από λύματα. Η λειτουργία (φόρτιση) των κλινών προβλέπεται να ακολουθεί τη σειρά φόρτιση/ανάπαυση με σχέση χρόνου 1:2 για το πρώτο στάδιο και 1:1 για το δεύτερο στάδιο. Το τρίτο στάδιο επεξεργασίας αποτελείται από 4 κλίνες οριζόντιας ροής εμβαδού 1,5m^2/ι.κ., οι οποίες είναι φυτεμένες με καλάμια και τροφοδοτούνται επίσης με αντλία. Οι επεξεργασμένες εκροές συγκεντρώνονται σε φρεάτιο επανακυκλοφορίας, με το οποίο επιστρέφονται τα επεξεργασμένα λύματα στο φρεάτιο εισόδου τις περιόδους κατά τις οποίες οι εκροές δεν ικανοποιούν τα κριτήρια διάθεσης. Τελευταίο στάδιο επεξεργασίας είναι η μονάδα απολύμανσης των επεξεργασμένων λυμάτων, από το οποίο καταλήγουν στο φρεάτιο διάθεσης. Το έργο διαθέτει, επίσης, δεξαμενή κομποστοποίησης των καλαμιών και ξήρανσης της λάσπης από την αναερόβια δεξαμενή. Στο Σχήμα 2 που ακολουθεί παρατίθεται το διάγραμμα ροής της εγκατάστασης επεξεργασίας.

2.2. Η Ε.Ε.Λ. των Δ.Δ. Καλλιθέας – Λευκώνα

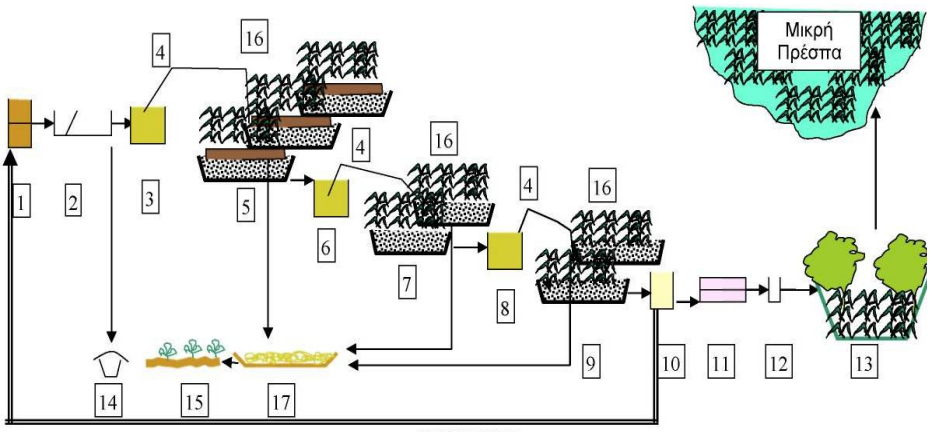
Η θέση που επιλέχθηκε κυρίως με βάση τη διαθεσιμότητα του κοινόχρηστου χώρου για την κατασκευή της εγκατάστασης βρίσκεται σε απόσταση περίπου 1.500m ανατολικά της Μικρής Πρέσπας, δυτικά του οικισμού του Λευκώνα. Ο πληθυσμός σχεδιασμού του συστήματος των υγροτόπων ανέρχεται σε 600 ι.κ.. Το έργο αυτό ακολουθεί στο σχεδιασμό του μια προσέγγιση που εφαρμόζεται πρόσφατα στη Γαλλία, η οποία χαρακτηρίζεται από απουσία πρωτοβάθμιου σταδίου επεξεργασίας (Δεξαμενή Imhoff, Αναερόβια δεξαμενή) [7]. Τα λύματα από τον αγωγό μεταφοράς εισέρχονται στη μονάδα στο φρεάτιο εισόδου του έργου και από εκεί μεταφέρονται στην εσχάρωση. Η πρωτοβάθμια επεξεργασία αποτελείται από δύο στάδια κατακόρυφης ροής 3 και 2 κλινών, αντίστοιχα, που είναι φυτεμένες με καλάμια. Η συνολική επιφάνεια των κλινών της πρωτοβάθμιας επεξεργασίας ανέρχεται σε 2,5m^2/ικ. Η τροφοδοσία των κλινών γίνεται με τη χρήση δύο μηχανικών σιφώνων, καθαρού όγκου 16,00m^3 έκαστος, οι οποίοι εξασφαλίζουν υψηλή παροχή και ταχύ πλημμυρισμό των κλινών. Το δεύτερο στάδιο επεξεργασίας αποτελείται από 2 κλίνες οριζόντιας ροής εμβαδού 1,5m^2/ικ, οι οποίες είναι φυτεμένες με καλάμια και τροφοδοτούνται, επίσης, με μηχανικό σίφωνα καθαρού όγκου 8,00m^3. Οι λοιπές εγκαταστάσεις είναι αντίστοιχες της Ε.Ε.Λ του Λαιμού – Αγίου Γερμανού – Πλατέως. Η χρήση μηχανικών σιφώνων κατέστη δυνατή λόγω του επικλινούς του χώρου εγκατάστασης (ΔΗ= 6,50m) Στο Σχήμα 3 που ακολουθεί παρατίθεται το διάγραμμα ροής της εγκατάστασης.



ΥΠΟΜΝΗΜΑ

1 Φρεάτιο Εισόδου
2 Εσχάρωση
3 Αναερόβια δεξαμενή
4 Αντλιοστάσιο 1ου σταδίου
5 Κλίνες κατακόρυφης ροής (1ο στάδιο)
6 Αντλιοστάσιο 2ου σταδίου
7 Κλίνες κατακόρυφης ροής (2ο στάδιο)
8 Αντλιοστάσιο 3ου σταδίου
9 Κλίνες οριζόντιας ροής (3ο στάδιο)
10 Αντλιοστάσιο επανακυκλοφορίας
11 Μονάδα απολύμανσης
12 Φρεάτιο Εξόδου
13 Ρέμα Αγ. Γερμανού
14 Κάδος συλλογής απορριμμάτων
15 Χωνεμένη λάσπη ως εδαφοβελτιωτικό
16 Καλάμια (Phragmites australis)
17 Δεξαμενή κομποστοποίησης καλαμιών

Σχήμα 2: Διάγραμμα ροής ΕΕΛ ΔΔ Λαιμού – Αγίου Γερμανού – Πλατέως του Δήμου Πρεσπών



ΥΠΟΜΝΗΜΑ

1 Φρεάτιο Εισόδου
2 Εσχάρωση
3 Φρεάτιο Σιφωνισμού 1ου σταδίου
4 Τροφοδοσία μέσω Σίφωνα
5 Κλίνες κατακόρυφης ροής (1ο στάδιο)
6 Φρεάτιο Σιφωνισμού 2ου σταδίου
7 Κλίνες κατακόρυφης ροής (2ο στάδιο)
8 Φρεάτιο Σιφωνισμού 3ου σταδίου
9 Κλίνες οριζόντιας ροής (3ο στάδιο)
10 Αντλιοστάσιο επανακυκλοφορίας
11 Μονάδα απολύμανσης
12 Φρεάτιο Εξόδου
13 Ρέμα Λευκώνα
14 Κάδος συλλογής απορριμμάτων
15 Χωνεμένη λάσπη ως εδαφοβελτιωτικό
16 Καλάμια (Phragmites australis)
17 Δεξαμενή κομποστοποίησης καλαμιών

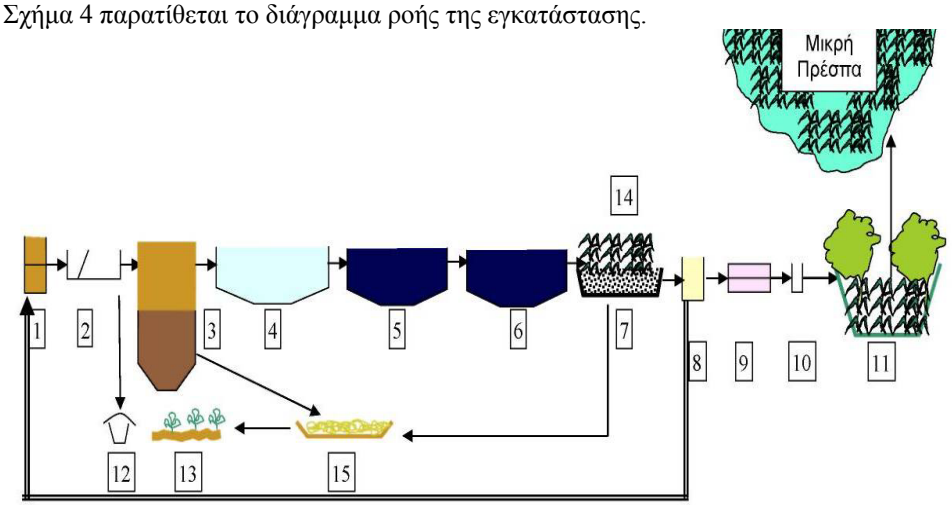
Σχήμα 3: Διάγραμμα ροής Ε.Ε.Λ. Δ.Δ. Καλλιθέας – Λευκώνα του Δήμου Πρεσπών

2.3. Η Ε.Ε.Λ. των Δ.Δ. Μικρολίμνης - Καρυών

Η θέση που επιλέχθηκε για την κατασκευή της εγκατάστασης βρίσκεται σε απόσταση περίπου 2.000m ανατολικά της Μικρής Πρέσπας, πλησίον του οικισμού της Οξυάς και σε ενδιάμεση απόσταση από τους οικισμούς της Μικρολίμνης και των Καρυών. Εξετάστηκαν δύο τύποι φυσικών συστημάτων ήτοι τεχνητοί υγρότοποι και

λίμνες σταθεροποίησης και επιλέχθηκε η κατασκευή των λιμνών σταθεροποίησης, διότι έχουν απλούστερη λειτουργία από τους υγροτόπους [9], ενώ η θέση του έργου απέχει σημαντικά από τους παρόχθιους καλαμιώνες της Μικρής Πρέσπας. Ο πληθυσμός σχεδιασμού του συστήματος των λιμνών σταθεροποίησης ανέρχεται στους 400 ι.κ..

Ο σχεδιασμός του έργου περιλαμβάνει το φρεάτιο εισόδου, από το οποίο τα λύματα μεταφέρονται στην εσχάρωση και στη συνέχεια στην αναερόβια δεξαμενή χωρητικότητας 200m^3 για την πρωτοβάθμια επεξεργασία. Ο μέσος χρόνος παραμονής στην αναερόβια υπολογίζεται σε 2,4 ημέρες. Η δευτεροβάθμια επεξεργασία αποτελείται από τρεις ανοικτές λίμνες, μία επαμφοτερίζουσα χωρητικότητας 2.200m^3 και δύο ωρίμανσης χωρητικότητας 500m^3, η κάθε μία. Ο συνολικός χρόνος παραμονής και στις τρεις λίμνες ανέρχεται σε 38 ημέρες. Η τριτοβάθμια επεξεργασία περιλαμβάνει έναν τεχνητό υγρότοπο με κλίνη οριζόντιας ροής εμβαδού 1,5m^2/ικ, η οποία είναι φυτεμένη με καλάμια. Οι επεξεργασμένες εκροές συγκεντρώνονται στο φρεάτιο επανακυκλοφορίας, μέσω του οποίου επιστρέφουν τα επεξεργασμένα λύματα στο φρεάτιο εισόδου, τις περιόδους κατά τις οποίες δεν ικανοποιούνται τα κριτήρια διάθεσης. Τελευταίο στάδιο επεξεργασίας είναι η μονάδα απολύμανσης των επεξεργασμένων λυμάτων, από την οποία καταλήγουν στο φρεάτιο διάθεσης. Επίσης, προβλέπεται δεξαμενή κομποστοποίησης των καλαμιών και ξήρανσης της λάσπης. Στο Σχήμα 4 παρατίθεται το διάγραμμα ροής της εγκατάστασης.



ΥΠΟΜΝΗΜΑ

1 Φρεάτιο Εισόδου
2 Εσχάρωση
3 Αναερόβια δεξαμενή
4 Επαμφοτερίζουσα λίμνη
5 1η Λίμνη Ωρίμανσης
6 2η Λίμνη Ωρίμανσης
7 Τεχνητός υγρότοπος οριζόντιας ροής
8 Αντλιοστάσιο επανακυκλοφορίας
9 Μονάδα απολύμανσης
10 Φρεάτιο Εξόδου
11 Ρέμα Οξυάς
12 Κάδος συλλογής απορριμμάτων
13 Χωνεμένη λάσπη ως εδαφοβελτιωτικό
14 Καλάμια (Phragmites australis)
15 Δεξαμενή κομποστοποίησης καλαμιών

Σχήμα 4: Διάγραμμα ροής Ε.Ε.Λ. Δ.Δ. Καρυών – Μικρολίμνης

3. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Οι φυσικές μέθοδοι επεξεργασίας τυγχάνουν σήμερα γενικής αποδοχής διεθνώς (EU, USA κλπ.), αλλά και στη χώρα μας, ως μια αξιόπιστη και κατάλληλη για μικρούς οικισμούς (<5.000ικ) μέθοδος επεξεργασίας αστικών υγρών αποβλήτων. Εκτός όμως από αξιόπιστη, είναι και οικονομική λύση, ιδιαίτερα κατά τη φάση της λειτουργίας, καθώς οι μονάδες δεν χρειάζονται συνεχή παρουσία εξειδικευμένου προσωπικού για να λειτουργήσουν, γεγονός το οποίο επιβαρύνει τον συνήθως περιορισμένο προϋπολογισμό των μικρών Δήμων.

Για τα τρία έργα που παρουσιάζονται συνοπτικά στην παρούσα εργασία το κόστος κατασκευής, σύμφωνα με τον προϋπολογισμό τους, ανέρχεται σε 350€ έως 600 €/ικ ανάλογα με τη μέθοδο επεξεργασίας και τον πληθυσμό σχεδιασμού. Αναλυτικά για το έργο επεξεργασίας λυμάτων των Δ.Δ. Λαιμού – Αγίου Γερμανού – Πλατέως ο προϋπολογισμός του ανέρχεται στις 720.000€, ήτοι 550€/ικ και αν συνυπολογιστεί ότι οι μεταφορές των υλικών είναι της τάξης των 150.000€, λόγω των ιδιαίτερων απαγορεύσεων της περιοχής, το πραγματικό κόστος κατασκευής ανέρχεται στα 450€/ικ. Για το έργο της επεξεργασίας των λυμάτων των Δ.Δ. Καλλιθέας – Λευκώνα ο προϋπολογισμός του ανέρχεται στις 360.000€, ήτοι 600€/ικ. Χωρίς τις μεταφορές των υλικών που ανέρχονται στις 50.000€ το κόστος κατασκευής είναι 500€/ικ. Τέλος, για το έργο επεξεργασίας λυμάτων των Δ.Δ. Καρυών – Μικρολίμνης το κόστος, με βάση αντίστοιχα έργα, είναι της τάξης των 350€/ικ. Αναλύοντας το κόστος λειτουργίας στα τρία έργα που αναφέρθηκαν στην μελέτη προκύπτει ότι για την Ε.Ε.Λ. των Δ.Δ. Λαιμού – Αγίου Γερμανού – Πλατέως το κυρίως κόστος λειτουργίας είναι η ηλεκτρική κατανάλωση και συντήρηση των αντλιών φόρτισης των κλινών και του συστήματος απολύμανσης, ενώ για τα άλλα δύο το κόστος περιορίζεται κυρίως στη λειτουργία της μονάδος απολύμανσης.

Ο σχεδιασμός των τεχνητών υγροτόπων είναι πλέον σύνθετος από το σχεδιασμό των δεξαμενών σταθεροποίησης, ιδιαίτερα όταν απαιτούνται αντλίες για την τροφοδοσία των κλινών. Η ύπαρξη επαρκούς κλίσης στο χώρο εγκατάστασης, η οποία να επιτρέπει τη χρήση μηχανικών σιφώνων, είναι σημαντικό πλεονέκτημα και απλοποιεί το σχεδιασμό, αλλά και τη λειτουργία των έργων με την προϋπόθεση της σωστής διαστασιολόγησης του όγκου που παροχετεύεται σε κάθε σιφωνισμό.

Η δυνατότητα κατάργησης του πρώτου σταδίου επεξεργασίας (αναερόβια δεξαμενή) σε τεχνητούς υγροτόπους αποτελεί ιδιαίτερα ελκυστική σχεδιαστική προσέγγιση η οποία πρέπει να αξιολογηθεί συστηματικά σε αντίστοιχα έργα εν λειτουργία.

Ο σχεδιασμός, όμως, φυσικών συστημάτων επεξεργασίας λυμάτων, τόσο με λίμνες σταθεροποίησης, όσο και με τεχνητούς υγροτόπους δεν υποχρεούται να ακολουθεί στη χώρα μας θεσμοθετημένους κανόνες ή αρχές. Αντίθετα, υπόκειται σε ατεκμηρίωτες επιβολές στο σχεδιασμό από τις αδειοδοτούσες υπηρεσίες, που δεν έχουν την απαιτούμενη ενημέρωση. Η ανάπτυξη μίας βάσης πληροφοριών με τα χαρακτηριστικά του σχεδιασμού και των αποτελεσμάτων λειτουργίας για τα φυσικά συστήματα που κατασκευάστηκαν στην Ελλάδα θα βοηθούσε στη βελτίωση του σχεδιασμού αντίστοιχων έργων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Gottle, A. (2004). Bavarian Office for Water Management, Personal communication.
2. Καραμούζης Δ., (2003). Φυσικά Συστήματα Επεξεργασίας Λυμάτων. Τεύχος 1. Τεχνητοί Υγρότοποι. Εκδόσεις Δωδώνη, Θεσσαλονίκη. Σελ. …
3. Αγγελάκης Α. και Tsobanoglous G. (1995). Υγρά Απόβλητα. Φυσικά Συστήματα Επεξεργασίας και Ανάκτηση, Επαναχρησιμοποίηση και Διάθεση εκροών. Πανεπιστημιακές εκδόσεις Κρήτης. Σελ. …
4. Kadlec R. and Knight R.(1995). Treatment Wetlands. Lewis Publishers, New York.
5. Crites R. and Tsobanoglous G. (1998). Small and decentralized wastewater management systems. Series in Water Resources and Env. Engineering. McGraw-Hill.
6. Tsihrintzis V.A., Karamouzis D., Akratos C. and Angelakis A.N., (2004). Comparison of a free-water surface and a vertical subsurface flow constructed wetland system. Proc. 6th Int. Conf. on Waste Stabilization Ponds and 9th Int. Conf.

on Wetland Systems for Water Pollution Control, Avignon (France), 26th Sept.-1rst Oct. 2004, Communications of common interest, pp 199-208.
7. Boutin C. and Lienard A. (2004). Reed Bed Filters for wastewater treatment in France: major design and history of development. Water21, April 2004, IWA.
8. Papadopoulos A., Parisopoulos G., Papadopoulos F. and Karteris A. 2003. Sludge accumulation pattern in an anaerobic pond under Mediterranean climatic conditions. *Water Research*, Vol. 37, 634-644.
9. Parissopoulos G., Papadopoulos A., Papadopoulos F. and Karteris A., 2003, Comparative design and performance analysis of three different in configuration waste stabilization ponds pilot units in a Mediterranean – temperate climate, *Water Science and Technology : Water Supply* 3 (4):193-200

(172)

ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΟΥ ΙΣΟΖΥΓΙΟΥ ΝΕΡΟΥ ΚΑΙ ΑΖΩΤΟΥ ΣΕ ΑΓΡΟ ΑΡΑΒΟΣΙΤΟΥ ΑΡΔΕΥΟΜΕΝΟ ΜΕ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΜΕΝΑ ΛΥΜΑΤΑ

Β. Ζ. Αντωνόπουλος και Μ. Η. Rahil
Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Γεωπονική Σχολή, Τομέας Εγγείων Βελτιώσεων, Γεωργ. Μηχ. & Εδαφ., Τ.Κ. 54124, Θεσ/νίκη, vasanton@agro.auth.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το ισοζύγιο του νερού και του αζώτου στο έδαφος αγρού καλλιεργούμενου με αραβόσιτο και αρδευόμενο με επεξεργασμένα λύματα εκτιμήθηκε με το μοντέλο WANISIM (Water and Nitrogen Simulation Model). Η μελέτη επικεντρώθηκε στην εκτίμηση των επιπτώσεων της άρδευσης με επεξεργασμένα λύματα και τη συμπληρωματική λίπανση με ανόργανο άζωτο στην κατανομή του νερού και αζώτου στο έδαφος, στο ισοζύγιό τους κατά την καλλιεργητική και την ακολουθούμενη μη καλλιεργητική περίοδο και στην έκπλυση αζώτου προς τα υπόγεια νερά. Χρησιμοποιήθηκαν πειραματικές μετρήσεις που έγιναν σε αγρό της περιοχής Σίνδου Θεσσαλονίκης για ένα πλήρες έτος από τον Απρίλιο του 2004. Οι διαδικασίες αξιολόγησης των αποτελεσμάτων έδειξαν ότι το μοντέλο μπορεί να προσομοιώσει τις αλληλοεπιδράσεις του συστήματος έδαφος-νερό-φυτό-ατμόσφαιρα-περιβάλλον.

SIMULATION OF WATER AND NITROGEN BALANCE IN A CORN FIELD IRRIGATED WITH TREATED WASTEWATER

V. Z. Antonopoulos and M.H. Rahil
Aristotle University of Thessaloniki, Sch. of Agriculture, Department of Hydraulics, Soil Science and Agriculture Engineering, 54124, Thessaloniki, vasanton@agro.auth.gr

ABSTRACT

A mathematical model named WANISIM (Water and Nitrogen Simulation Model) was used to evaluate the soil water and nitrogen dynamics in a soil cultivated with corn-crop under irrigation with treated wastewater. The model applications focused on the effects of irrigation with treated wastewater plus nitrogen fertilizer application on water and nitrogen distribution in the soil profile, water and nitrogen balance components, and nitrogen leaching to groundwater. To simulate the soil water and nitrogen balance, a field experiment was carried out for a period of one year. The procedures of model evaluation show that the model can simulate the effect of soil-water-plant-atmosphere interactions.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η επαναχρησιμοποίηση των επεξεργασμένων λυμάτων για την άρδευση καλλιεργειών παρουσιάζει τις τελευταίες δύο δεκαετίες μεγάλο ενδιαφέρον. Η μείωση των διαθέσιμων υδατικών πόρων, η αυξανόμενη παραγωγή λυμάτων και η ανάγκη επαναχρησιμοποίησης των λυμάτων για την προστασία του περιβάλλοντος δημιουργεί την ανάγκη χρησιμοποίησης των επεξεργασμένων λυμάτων στην γεωργία. Η επαναχρησιμοποίηση έχει θετικές επιδράσεις στην παραγωγή με τη προσθήκη στο έδαφος θρεπτικών στοιχείων από τα λύματα, αλλά και αρνητικές επιπτώσεις από την υψηλή περιεκτικότητα σε άζωτο και άλλα ανεπιθύμητα στοιχεία των λυμάτων [16]. Προβληματισμός υπάρχει για τον εμπλουτισμό των υπόγειων νερών με νιτρικά και τα συνεπαγόμενα προβλήματα στην ανθρώπινη υγεία [2], όπως και τα προβλήματα ευτροφισμού [17].

Η διαχείριση του αρδευτικού νερού και του αζώτου μπορεί να γίνει με μαθηματικά μοντέλα. Μοντέλα για το σκοπό αυτό υπάρχουν αρκετά στη διεθνή βιβλιογραφία [5],[6],[8],[9],[10],[14],[15].

Στο σταθμό επεξεργασίας λυμάτων της Θεσσαλονίκης επεξεργάζονται ημερησίως 150.000 m^3 λυμάτων που διατίθενται στον Θερμαϊκό κόλπο. Η επαναχρησιμοποίησή τους για άρδευση θα συμβάλλει στην εξοικονόμηση υδατικών πόρων και την προστασία του Θερμαϊκού.

Στην εργασία χρησιμοποιείται το μαθηματικό μοντέλο WANISIM (Water and Nitrogen Simulation Model) για την προσομοίωση της δυναμικής του νερού και του αζώτου στο έδαφος καλλιεργούμενου αγρού κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου του αραβοσίτου και της συνεχόμενης μη καλλιεργητικής περιόδου. Ο σκοπός είναι να εξεταστούν και διερευνηθούν οι επιπτώσεις της άρδευσης με επεξεργασμένα λύματα και συμπληρωματική αζωτούχο λίπανση στο ισοζύγιο νερού και αζώτου στο έδαφος και η έκπλυση του προς τα υπόγεια νερά.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1. Περιγραφή του μοντέλου

Το μοντέλο προσομοίωσης της δυναμικής του νερού και του αζώτου στο έδαφος, WANISIM, περιγράφει την κίνηση του νερού, τη μεταφορά μάζας και τους μετασχηματισμούς του αζώτου στο έδαφος [3],[4],[13]. Αποτελείται από μια σειρά υπορουτινες που περιγράφουν και εκτιμούν ταυτόχρονα τις διαδικασίες της κίνησης του νερού, της μεταφοράς του αμμωνιακού και νιτρικού αζώτου, της πρόσληψης του νερού και του αζώτου από τα φυτά, την ανοργανοποίηση και ακινητοποίηση του αζώτου και τους μετασχηματισμούς των ανόργανων μορφών του αζώτου στο έδαφος, λαμβάνοντας παράλληλα υπόψη την επίδραση των περιβαλλοντικών παραγόντων στις ευαίσθητες διαδικασίες των μετασχηματισμών και της πρόσληψης του αζώτου και στην τύχη του εφαρμοζόμενου οργανικού και ανόργανου αζωτούχου λιπάσματος.

Η εξίσωση που περιγράφει τη δυναμική του εδαφικού νερού με ταυτόχρονη πρόσληψη νερού από το ριζικό σύστημα των φυτών είναι η εξής

$$C_h \frac{\partial h}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z}\left(K \frac{\partial h}{\partial z} - K \right) - S_w \qquad (1)$$

όπου h είναι το ύψος πίεσης (cm), K είναι η υδραυλική αγωγιμότητα (cm day^{-1}), C_h είναι η υδραυλική χωρητικότητα (cm^{-1}), S_w είναι ο όρος πρόσληψης νερού από τις ρίζες (cm^3 cm^{-3} day^{-1}), z είναι η κατακόρυφη συντεταγμένη (θετική προς τα κάτω) (cm) και t είναι ο χρόνος (day).

Η μακροσκοπική προσέγγιση πρόσληψης νερού από τις ρίζες περιγράφεται από την σχέση των Feddes et al. (1978) ως συνάρτηση της μέγιστης πρόσληψης νερού και του περιοριστικού παράγοντα λόγω μείωσης της εδαφικής υγρασίας.

Οι μονοδιάστατες εξισώσεις στην κατακόρυφη διεύθυνση της μεταφοράς μάζας του NH_4-N και NO_3-N σε ακόρεστες συνθήκες έχουν ως εξής [4].

$$\frac{\partial \theta C_1}{\partial t} + \frac{\partial \rho S}{\partial t} - \frac{\partial}{\partial z}\left(\theta D \frac{\partial C_1}{\partial z}\right) + \frac{\partial q C_1}{\partial z} + \Phi_1 - Q_a + \xi_1 \theta = 0 \quad (3)$$

$$\frac{\partial \theta C_2}{\partial t} - \frac{\partial}{\partial z}\left(\theta D \frac{\partial C_2}{\partial z}\right) + \frac{\partial q C_2}{\partial z} + \Phi_2 - Q_n + \xi_2 \theta = 0 \quad (4)$$

όπου: C_1 και C_2 είναι οι συγκεντρώσεις του NH_4-N και NO_3-N στο εδαφικό διάλυμα (mg L^{-1}), D είναι ο συντελεστής διασποράς (cm^2 day^{-1}), θ είναι η εδαφική υγρασία (cm^3 cm^{-3}), q είναι η ταχύτητα Darcy (cm day^{-1}), ρ είναι η φαινόμενη πυκνότητα του εδάφους (g cm^{-3}), S είναι η προσροφημένη στα στερεά ποσότητα NH_4-N (mg g^{-1}), Φ_1 και Φ_2 είναι οι όροι των ρυθμών μετασχηματισμού του NH_4-N και NO_3-N (mg L^{-1} day^{-1}), Q_a και Q_n είναι οι ρυθμοί πρόσληψης NH_4-N και NO_3-N ανά μονάδα όγκου του εδάφους (mg L^{-1} day^{-1}), αντίστοιχα, και ξ_1 και ξ_2 είναι η καθαρή παραγωγή από την ανοργανοποίηση/ακινητοποίηση NH_4-N και NO_3-N (mg L^{-1} day^{-1}) κατά την ανοργανοποίηση του οργανικού αζώτου.

2.2 Περιγραφή των πειραματικών μετρήσεων

Ο πειραματικός αγρός βρίσκεται στο Ινστιτούτο Εγγείων Βελτιώσεων Δυτικά της Θεσσαλονίκης (40° 40' latitude, 22° 48' longitude). Η σπορά του αραβοσίτου έγινε στις 20 Απριλίου 2004 με πυκνότητα φυτών 66000/ha. Η βλάστηση άρχισε στις 4 Μαΐου και η συγκομιδή έγινε στις 13 Σεπτεμβρίου. Έγινε ανόργανος λίπανση αζώτου κατά τη σπορά με 500 kg N ha^{-1}. Τα επεξεργασμένα λύματα του σταθμού επεξεργασίας λυμάτων της Θεσσαλονίκης χρησιμοποιήθηκαν για την άρδευση της καλλιέργειας. Οι μέσες τιμές των ποιοτικών παραμέτρων των επεξεργασμένων λυμάτων δίνονται στον Πίνακα 1. Έγιναν 10 αρδεύσεις ανά 7 ημέρες. Το ολικό ύψος αρδευτικού νερού ήταν 49.4 cm. Η βροχή της ίδιας περιόδου ανήλθε στα 9.1 cm και έφτασε στα 49.06 cm κατά τη διάρκεια της περιόδου προσομοίωσης του ενός έτους. Η κατανομή της βροχής και άρδευσης κατά τη διάρκεια του έτους προσομοίωσης δίνεται στο Σχήμα 1.

Με τα ημερήσια μετεορολογικά δεδομένα από το σταθμό της Σίνδου υπολογίστηκε η ημερήσια εξατμισοδιαπνοή αναφοράς με τη μέθοδο FAO Penman-Monteith [1].

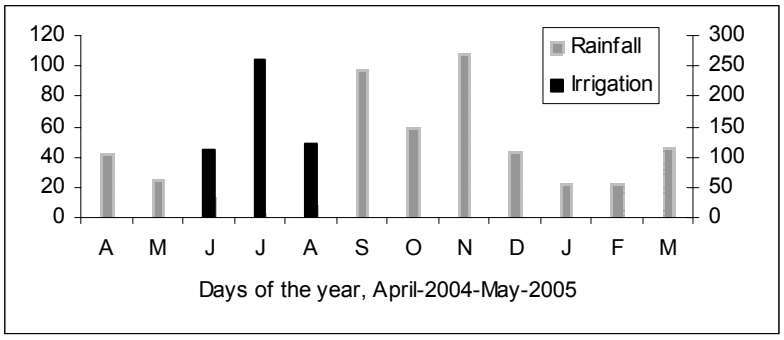
Πίνακας 1.Φυσικοχημικές ιδιότητες των επεξεργασμένων λυμάτων

Παράμετρος	pH	EC_w dS/m	SAR	Na	Ca meq/l	Mg	$N\text{-}NO_3$	$N\text{-}NH_4$ mg/l
Συγκέντρωση	7.4	3.5	15.7	24.3	1.5	3.2	4.5	0.23

Σε αντιπροσωπευτικά βάθη (25, 55, 85, and 105 cm) των τεσσάρων στρώσεων του εδάφους προσδιορίστηκαν οι χαρακτηριστικές καμπύλες, θ(h), και η υδραυλική αγωγιμότητα κορεσμού, K_{sat}.

Η καταγραφή της εδαφικής υγρασίας και των συγκεντρώσεων αζώτου στο έδαφος έγινε σε δείγματα εδάφους από τα τέσσερα διαφορετικά βάθη με επανάληψη κάθε 12 ημέρες κατά την διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου και κάθε 25 ημέρες την ακολουθούμενη μη καλλιεργητική περίοδο. Η εδαφική υγρασία προσδιοριζόταν με τη σταθμική μέθοδο. Οι μετρήσεις αζώτου περιλάμβαναν το αμμωνιακό άζωτο (NH4-N), το νιτρικό (NO_3-N), το ολικό και το οργανικό άζωτο στα δείγματα εδάφους.

Για την παρακολούθηση της ανάπτυξης της καλλιέργειας γινόταν μετρήσεις του δείκτη φυλλικής επιφάνειας (LAI) κάθε δύο βδομάδες. Το βάθος και η κατανομή του ριζικού συστήματος γινόταν επίσης κάθε δύο βδομάδες σε αντιπροσωπευτικά φυτά, που απομακρυνόταν από το έδαφος.



Σχήμα 1. Κατανομή της βροχής και της άρδευσης κατά τη διάρκεια του έτους προσομοίωσης

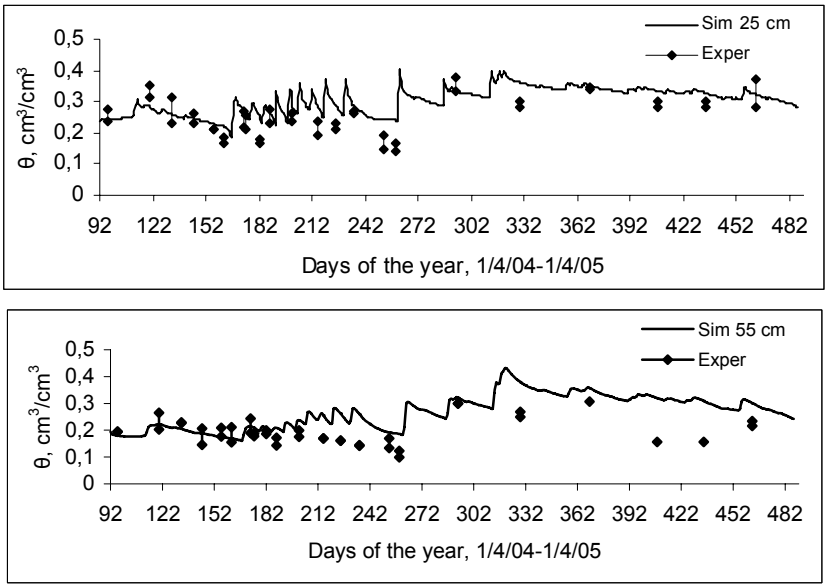
2.3 Στατιστικός έλεγχος των αποτελεσμάτων

Ο έλεγχος των αποτελεσμάτων του μοντέλου έγινε συγκρίνοντας τις υπολογισμένες με τις μετρημένες τιμές χρησιμοποιώντας ποιοτικά και ποσοτικά κριτήρια. Τα ποιοτικά κριτήρια περιλαμβάνουν διαγραμματική σύγκριση των υπολογισμένων με τις μετρημένες τιμές ως προς το βάθος και το χρόνο. Τα ποσοτικά κριτήρια περιλαμβάνουν τον υπολογισμό των στατιστικών παραμέτρων [2] του μέσου σφάλματος (E), του μέσου τετραγώνου των αποκλίσεων (RMS), το μέσο τετραγωνικό σφάλμα (RMSE), το συντελεστή υπολείμματος μάζας (CRM), και την αποδοτικότητα του μοντέλου (EF).

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Στο Σχήμα 2 δίνεται η διακύμανση της εδαφικής υγρασίας κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου του αραβοσίτου και τη συνεχόμενη μη καλλιεργητική περίοδο στα βάθη των 25 και 55 cm. Η σύγκριση των υπολογισμένων με τις μετρημένες τιμές της εδαφικής υγρασίας δείχνει ότι το μοντέλο WANISIM μπορεί να περιγράψει αρκετά ικανοποιητικά το σύστημα έδαφος-νερό-φυτό ατμόσφαιρα. Παρατηρούνται όμως μερικές υπερ- και υποεκτιμήσεις της εδαφικής υγρασίας από το μοντέλο. Η υπερεκτίμηση της εδαφικής υγρασίας κατά την περίοδο 167 μέχρι 230 ημέρα του έτους οφείλεται στην μέθοδο άρδευσης (στάγδην άρδευση) και στη μέθοδο μέτρησης της υγρασίας (σταθμική μέθοδος), που εμπεριέχουν την μεταβλητότητα λόγω κατανομής της υγρασίας στο έδαφος και των εδαφικών ιδιοτήτων.

Τα αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης δίνονται στον Πίνακα 2. Οι αποκλίσεις των υπολογισμένων από τις μετρημένες τιμές είναι μικρότερες στο επιφανειακό στρώμα (E=0.028 cm^3/cm^3, RMS=4.565, RMSE=17.996) από ότι στο βαθύτερο στρώμα (E=0.042 cm^3/cm^3, RMS=6.192, RMSE=30.760). Οι τιμές του CRM δείχνουν υπερεκτίμηση σ'όλα τα βάθη.



Σχήμα 2. Σύγκριση υπολογισμένων (συνεχή γραμμή) με τις μετρημένες (σημεία) τιμές εδαφικής υγρασίας στα βάθη 25 και 55 cm. Οι μετρημένες τιμές είναι διπλές σε κάθε βάθος

Πίνακας 2. Στατιστικά κριτήρια ελέγχου των αποτελεσμάτων

		Στατιστικά κριτήρια				
Depth, cm	n	E (cm^3/cm^3)	RMS	RMSE (%)	EF	CRM
0-40	22	0.028	4.565	17.996	0.336	-0.110
40-65	22	0.042	6.192	30.760	-0.748	-0.211

Στον Πίνακα 3 δίνονται οι συνιστώσες του ισοζυγίου του νερού στο έδαφος στο τέλος ενός πλήρους έτους. Το αθροιστικό ύψος νερού των συνιστωσών του ισοζυγίου κατά τη διάρκεια της περιόδου προσομοίωσης δίνονται στο Σχήμα 3. Το ολικό ύψος νερού που εφαρμόστηκε κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου ήταν 58.5 cm, από το οποίο τα 49.4 cm ήταν η άρδευση και 9.1 cm ήταν από τη βροχή. Η πραγματική διαπνοή της περιόδου ανάπτυξης του αραβοσίτου ήταν 41.73 cm, ενώ η πραγματική εξάτμιση 15.2 cm, η οποία έφτασε τα 28.33 cm στον ένα πλήρες έτος. Το πρόγραμμα άρδευσης ικανοποιεί τις ανάγκες της καλλιέργειας σε νερό.

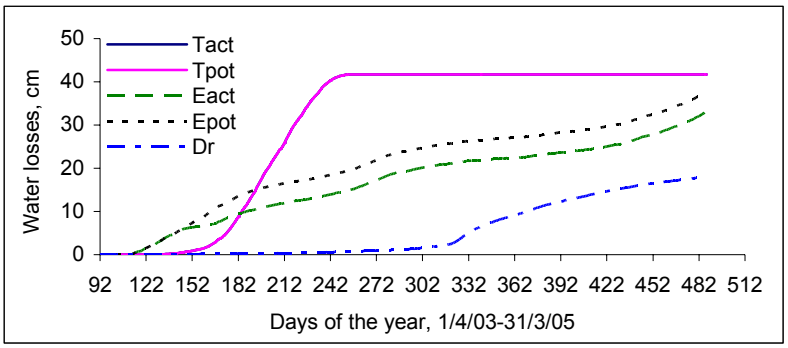
Στα Σχήματα 4 και 5 παρουσιάζονται οι χρονικές διακυμάνσεις των υπολογισμένων με το μοντέλο σε σύγκριση με τις μετρημένες τιμές στα βάθη των 25 και 55 cm των συγκεντρώσεων NO_3-N και NH_4-N κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης. Τα αποτελέσματα δείχνουν καλή συμφωνία κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης. Οι μεταβολές της συγκέντρωσης του NO_3-N δείχνουν καλή περιγραφή. Το μοντέλο εμφανίζει ένα μεγάλης χρονικής διαρκείας μέγιστο στο ριζόστρωμα αμέσως μετά την λίπανση (101 ημέρα του έτους) η οποία εμφανίζεται και στις μετρημένες τιμές.

Οι συγκεντρώσεις του νιτρικού αζώτου στο έδαφος μειώνονται ταχύτατα κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης των φυτών ($156^η$ μέχρι $223^η$ ημέρα του έτους) ιδιαίτερα στη ζώνη του ριζοστρώματος (0-40 cm), και αυξάνει μετά την ωρίμανση όταν η πρόσληψη

αναστέλλεται. Τα αποτελέσματα συμφωνούν με τις παρατηρήσεις των Lotse et al. (1992) για τις αυξομειώσεις του αζώτου στο έδαφος.

Πίνακας 3. Συνιστώσες ισοζυγίου του νερού και του αζώτου στο τέλος της περιόδου προσομοίωσης (1 έτος)

Συνιστώσα του ισοζυγίου νερού	Υψος νερού (cm)	Συνιστώσα του ισοζυγίου του αζώτου	kg N ha^{-1}
Βροχή	49.06	Εφαρμογή αζώτου με λίπανση	500.0
Αρδευση	49.4	Εφαρμογή αζώτου με λύματα	23.5
Διαπνοή πραγματική	41.73	Ανοργανοποίηση οργανικού N	253.6
Εξάτμιση πραγματική	28.33	Πρόσληψη N από τα φυτά	386.4
Εξατμισοδιαπνοή πραγματική	70.06	Εκπλυση προς τα υπόγεια νερά	170.8
Στράγγιση	16.74	Απονιτροποίηση NO_3-N	12.7
Μεταβολή στο αποθηκευμένο νερό	+11.55	Μεταβολή στο αποθηκευμένο άζωτο	207.2



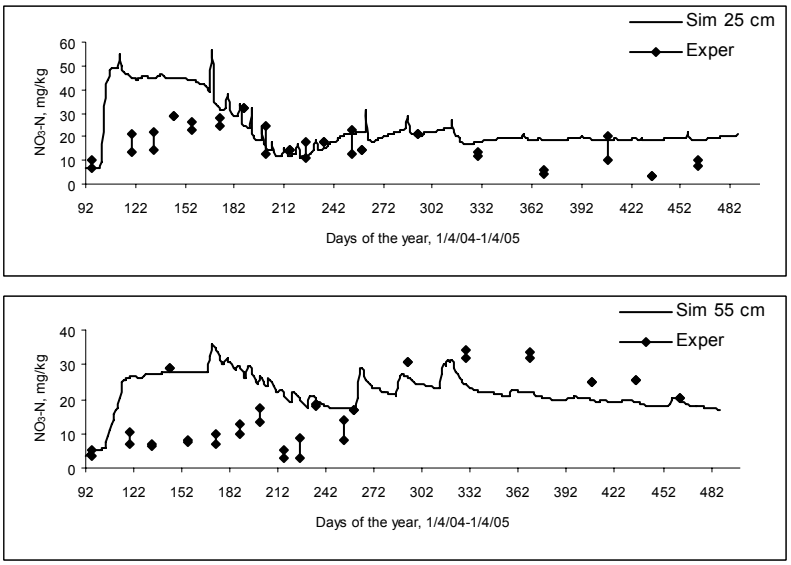
Σχήμα 3. Αθροιστική πραγματική διαπνοή (T_{act}),δυναμική διαπνοή (T_{pot}),πραγματική εξάτμιση (E_{act}), δυναμική εξάτμιση (E_{pot}), και στραγγιστικό νερό (Dr)στον αγρό

Οι υψηλές τιμές NH_4-N (Fig. 5) μετά την 101η ημέρα του έτους οφείλονται στην λίπανση πριν τη σπορά. Οι υψηλές αυτές τιμές εμφανίζονται σε όλα τα βάθη αλλά με κάποια καθυστέρηση βαθύτερα και με μικρότερες μέγιστες τιμές. Καθώς τα φυτά φτάνουν στην πλήρη ανάπτυξη, το NO_3-N και NH_4-N μειώνεται στο ριζόστρωμα μέχρι την ωρίμανση. Μετά την ωρίμανση και την συγκομιδή οι συγκεντρώσεις του ανόργανου αζώτου παρουσιάζουν μικρή αύξηση, που οφείλεται στην αποικοδόμηση των φυτικών υπολειμμάτων και την απελευθέρωση ανόργανου αζώτου.

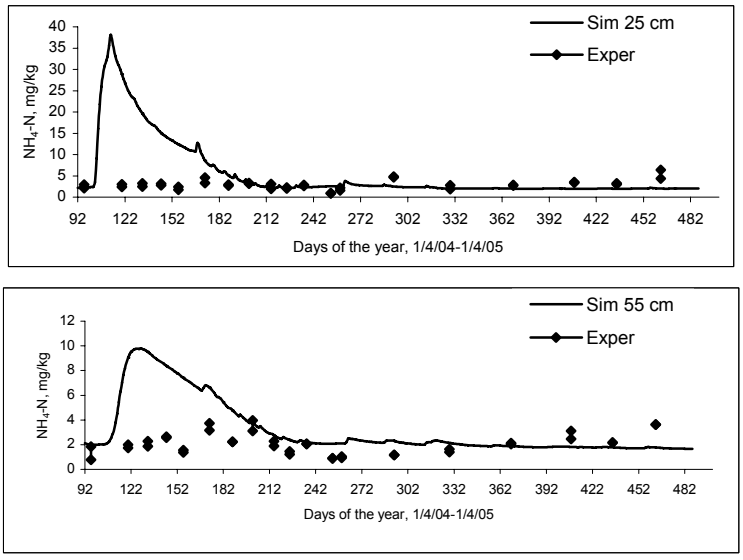
Στον Πίνακα 3 δίνεται το ισοζύγιο του αζώτου στον αγρό του αραβοσίτου. Η ποσότητα αζώτου που προστέθηκε με τα λύματα είναι πολύ μικρή. Αυτό οφείλεται στον προχωρημένο βαθμό επεξεργασίας των λυμάτων. Κατά τη διάρκεια του ενός έτους προσομοίωσης οι απώλειες αζώτου με έκπλυση ήταν 170.8 kg N ha^{-1}. Η έκπλυση συμβαίνει κατά τη διάρκεια του χειμώνα. Μόνο το 14% του συνολικά εκπλυνόμενου αζώτου παρατηρήθηκε την περίοδο Απριλίου - Οκτωβρίου, ενώ το υπόλοιπο 84 % εκπλύθηκε κατά την μη καλλιεργητική βροχερή περίοδο του χειμώνα. Το γεγονός δείχνει ότι ο χειμώνας είναι η επικίνδυνη εποχή για την έκπλυση του αζώτου. Είναι η

περίοδος που απαιτούνται αποφάσεις για να μειωθεί η ρύπανση των υπόγειων νερών με νιτρικά.

Η συνολική μεταβολή στο αποθηκευμένο άζωτο του εδάφους βάθους 1.5 m είναι ίση με 207.2 kg ha^{-1}. Η τιμή αυτή δείχνει ότι οι εισροές αζώτου ήταν αυξημένες κατά την περίοδο μελέτης. Το ποσό των 500 kg N ha^{-1} που εφαρμόστηκε είναι πολύ μεγαλύτερο από τις πραγματικές ανάγκες της καλλιέργειας. Το επιπλέον άζωτο των 207.2 kg N ha^{-1} που αποθηκεύεται στο έδαφος μπορεί να εκπλυθεί και να ρυπάνει τα υπόγεια νερά.



Σχήμα 4. Αποτελέσματα νιτρικού αζώτου (συνεχής γραμμή) και μετρημένες τιμές (σημεία) στα βάθη των 25 και 55 cm.



Σχήμα 5. Αποτελέσματα αμμωνιακού αζώτου (συνεχής γραμμή) και μετρημένες τιμές (σημεία) στα βάθη των 25 και 55 cm.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης έδειξαν ότι το μοντέλο WANISIM μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να περιγράψει τις χωροχρονικές μεταβολές του νερού και του αζώτου στο έδαφος αγρού καλλιεργούμενου με αραβόσιτο και όταν για την άρδευση χρησιμοποιούνται επεξεργασμένα αστικά λύματα. Παρόλα αυτά παρατηρούνται υπερ και υποεκτιμήσεις των υπολογισμένων τιμών σε σχέση με τις μετρημένες τιμές. Η αιτία είναι η παραλλακτικότητα του εδάφους που δεν μπορεί να ληφθεί υπόψη με την δειγματοληψία εδάφους και η μέθοδος άρδευσης (στάγδην άρδευση) που δεν διαβρέχει ομοιόμορφα το έδαφος.

Το αθροιστικό νερό στράγγισης ήταν 16.74 cm από το οποίο το 10 % (1.67 cm) παρατηρήθηκε την περίοδο καλλιέργειας, ενώ το 90 % (15 cm) κατά την ακολουθούμενη μη καλλιεργητική περίοδο από τον Οκτώβρη μέχρι το Απρίλη. Η υπερβολική λίπανση με ανόργανο άζωτο είχε ως αποτέλεσμα την αποθήκευση σημαντικού αζώτου στο έδαφος στο τέλος της περιόδου προσομοίωσης, το οποίο είναι δυνατό να δημιουργήσει προβλήματα ρύπανσης των υπόγειων νερών με την έκπλυση κατά τη διάρκεια του χειμώνα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. 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.
2. Αντωνόπουλος, Β.Ζ., 2003. *Υδραυλική Περιβάλλοντος και Ποιότητα Επιφανειακών Υδάτων*, Εκδόσεις Γιαχούδη, Θεσσαλονίκη, σελ. 520.
3. Antonopoulos, V. Z. (2001). Simulation of water and nitrogen balance of irrigated and fertilized corn-crop soil. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 127(2), 77-83.
4. Antonopoulos, V. Z. & Wyseure, G. C. 1998. Modeling of water and nitrogen dynamics on un undisturbed soil and a restored soil after open-cast mining. *Agriculture Water Management*, 37, 21-40.
5. Bergstrom, L., Johnsson, H. & Torstensson, G. 1991. Simulation of soil nitrogen dynamics using the SOILN model. *Fertilizer Research*, 27, 181-188.
6. Diekkruger, B., Sondgerath, D., Kersebanm, C. K., & mc-Voy, C. W. 1998. Validity of agro-ecosystem models: A comparison of results of different models applied to the same data set. *Ecological Modeling*, 81, 3-29.
7. Feddes, R. A., Kowalik, P. J. & Zaradny, H. 1978. *Simulation of field water use and crop yield*. Simulation Monography, Pudoc, Wageningen, pp.189.
8. Gabrielle, B. & Kengni, L. 1996. Analysis and field-evaluation of the CERES models soil components: Nitrogen transfer and transformation. *Soil Science Society of American Journal*, 60, 142-149.
9. Hutson, J. L. 2000. *LEACHM: Model description and user's guide*. School of Chemistry, Physics, and Earth Science, The Flinders University of South Australia, Adelaide, South Australia.
10. Jarvis, N. J. 1995. Simulation of soil water dynamics and herbicides persistence in silt loam soil using the MACRO model. *Ecological Modeling*, 8, 97-109.
11. Lafolie, F., Bruckler, L., de-Cockborne, A. M. & Laboucarie, C. 1997. Modeling the water transport and nitrogen dynamics in irrigated salad crops. *Irrigation Science*, 17, 95-104.

12. Lotse, E. G., Jabro, J. D., Simmons, K. E. & Baker, D. E. 1992. Simulation of nitrogen dynamics and leaching from arable soils. *Journal of Contaminant Hydrology*, 10, 183-196.
13. Rahil, M. and Antonopoulos, V., 2007. Simulating Soil water flow and nitrogen dynamics in a sunflower field irrigated with reclaimed wastewater, *Agricultural Water Management*, doi: 10.1016/j.agwat.2007.05.019.
14. Rinaldi, M. 2001. Application of EPIC model for irrigation scheduling of sunflower in Southern Italy. *Agriculture Water Management*, 49, 185-196.
15. Vanclooster, M., Ducheyne, S., Dust, M., Vereecken, H., 2000. Evaluation of pesticide dynamics of the WAVE model. *Agriculture Water Management*, 44, 371-388.
16. Vazquez-Montiel, O., Horan, N. J. and Marra, D. D. 1995. Effects of nitrogen application rates using treated wastewater on nitrogen uptake and crop yield based on pot trials with maize and soybean. *Water Research*, 29(8), 1945-1949.
17. WHO 1989. *Health guidelines for the use of wastewater in agriculture and aquaculture*. WHO Tech. Report Series No. 77, WHO, Geneva, Switzerland.

(181)

ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ΣΥΛΛΟΓΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΥΠΑΙΘΡΟΥ ΓΙΑ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ ΚΑΙ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ

Γ. Τζιαφάς[1α], Χ. Τοπάλογλου[2α], Ο. Χρίστου[1β] και Ν. Συλλαίος[2β]
[1]Geoinfo Εφαρμοσμένες Έρευνες και Μελέτες, Αγαλλιανού 26, Τ.Κ. 54352, Θεσσαλονίκη, e-mail: Tgeor@geoinfo.gr[1α], geoinfo@geoinfo.gr[1β]
[2]Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Γεωπονική Σχολή, Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης και Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών, ΑΠΘ, Τ.Κ. 54124, e-mail: chartop@agro.auth.gr[2α], sileos@agro.auth.gr[2β]

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται και αναλύονται οι βασικές λειτουργίες του προσαρμοσμένου λογισμικού για τη συλλογή δεδομένων υπαίθρου τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε διάφορες φάσεις επεξεργασίας δορυφορικών δεδομένων. Η εφαρμογή αυτή χρησιμοποιήθηκε στην Πάφο (Κύπρος) για ταξινόμηση δορυφορικών εικόνων υψηλής χωρικής διακριτικής ικανότητας με ικανοποιητικά αποτελέσματα της λαμβάνοντας πολλές παρατηρήσεις από το πεδίο ημερησίως. Ειδικότερα, τα πλεονεκτήματα της εφαρμογής ήταν η ταχύτητα και η ακρίβεια λήψης των σημείων καθώς και οι ελάχιστες απαιτήσεις σε ανθρώπινο δυναμικό.

SOFTWARE DEVELOPMENT FOR GROUND DATA COLLECTION FOR REMOTE-SENSING AND GIS APPLICATIONS

G. Tziafas1α, C. Topaloglou[2α], O. Christou[1β] και N. Sileos[2β]
[1]Geoinfo Applied Studies and Research, Agalianou 26, PO. 54352, Thessalonica , e-mail: Tgeor@geoinfo.gr[1α], geoinfo@geoinfo.gr[1β]
[2]Aristotle University of Thessaloniki, Remote Sensing and GIS Laboratory, PO. 54124, e-mail: chartop@agro.auth.gr[2α], sileos@agro.auth.gr[2β]

ABSTRACT

In this paper is presented the basic functions of a new customized software called CTS Tools especially designed for the collection of field observations which can be used in the analysis of remote sensing data. This software was used already in Pafos city in Cyprus collecting daily a lot of data for the crop classification of satellite images with high spatial resolution. Particularly, the advantages were the speed and the accuracy of the collection of the field data and the minimum demand in human resources.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η Τηλεπισκόπηση αποτελεί μία από πιο σύγχρονες τεχνολογίες, που στηρίζεται στην ανάλυση και επεξεργασία επίγειων χωρικών δεδομένων με τη βοήθεια κατάλληλου λογισμικού και Η/Υ και παρέχει συγκριτικά πλεονεκτήματα σε σχέση με παραδοσιακές μεθόδους συλλογής δεδομένων που πραγματοποιούνται κατά κύριο λόγο με εργασίες πεδίου, όπως είναι η συνοπτική απεικόνιση μεγάλων περιοχών, η ικανότητα της χωρικής αντίληψης (spatial comprehensiveness), καθώς και η δυνατότητα διαχρονικών λήψεων δορυφορικών εικόνων [1]. Παρόλα όμως τα πλεονεκτήματα της τηλεπισκόπησης, δεν πρέπει να υποεκτιμούνται τα δεδομένα που συλλέγονται στο πεδίο γιατί αποτελούν σημαντικό εργαλείο για την επεξεργασία και τον έλεγχο των αποτελεσμάτων της ανάλυσης των δορυφορικών δεδομένων.

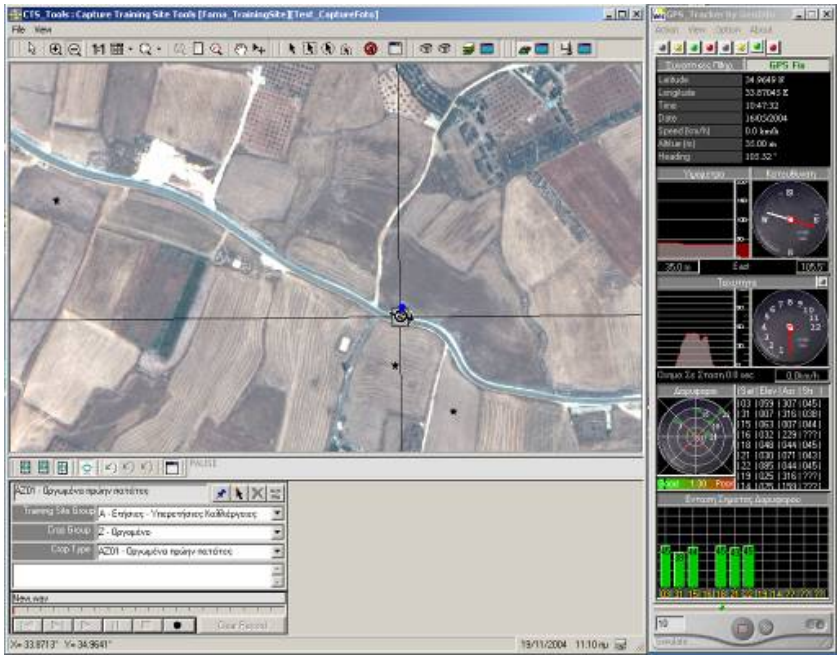
Μία κύρια ανάλυση των δορυφορικών εικόνων αποτελεί και η ταξινόμηση (classification) κατά την οποία ορίζονται δειγματοληπτικές περιοχές όπου αναγνωρίζεται ο τύπος κάλυψης γης και με τη χρήση καταλλήλου αλγορίθμου (ταξινομητής) παράγεται η ταξινομημένη εικόνα – θεματικός χάρτης. Η συλλογή των δειγματοληπτικών περιοχών μπορεί να γίνει με τρεις τρόπους: είτε από άλλα χαρτογραφικά δεδομένα είτε από φωτοερμηνεία της ίδιας της εικόνας είτε από τη συλλογή δεδομένων στο ύπαιθρο (in situ). Από τις τρεις αυτές δυνατότητες η συλλογή δεδομένων στο ύπαιθρο κρίνεται πιο αναγκαία γιατί στις δύο πρώτες περιπτώσεις ενδέχεται να υπάρχουν λάθη επειδή κανένας χάρτης δεν είναι πάντοτε σωστός ενώ η φωτοερμηνεία εξαρτάται από την εμπειρία του αναλυτή.

Βέβαια και τα δεδομένα υπαίθρου πολλές φορές μπορούν να εμπεριέχουν λανθασμένες παρατηρήσεις. Επομένως θα πρέπει να λαμβάνονται διάφορες προϋποθέσεις όπως η συλλογή κατάλληλου αντιπροσωπευτικού δείγματος, ([2], [3] και [4]), καθώς και ο κατάλληλος εξοπλισμός και το ανθρώπινο δυναμικό για τη συλλογή αυτών. Στον εξοπλισμό θα πρέπει να περιλαμβάνεται σύστημα εντοπισμού θέσης (Global Position System) ικανοποιητικής χωρικής ακρίβειας, λογισμικό για τη συλλογή των δεδομένων και ψηφιακή φωτογραφική μηχανή για τη λήψη φωτογραφιών από το πεδίο οι οποίες βοηθούν τον αναλυτή στην μετέπειτα επεξεργασία των δορυφορικών δεδομένων.

Η παρούσα εργασία εστιάζεται κυρίως στο λογισμικό το οποίο είναι απαραίτητο για το χρήστη ώστε να συλλέξει δεδομένα κα έχει ως σκοπό την ανάπτυξη λογισμικής εφαρμογής για τη συλλογή δεδομένων στο ύπαιθρο, με αντικειμενικούς στόχους 1) την εξασφάλιση της ακρίβειας των δεδομένων 2) την επιτάχυνση της διαδικασίας 3) τις ελάχιστες απαιτήσεις σε ανθρώπινο δυναμικό. Στη συνέχεια, περιγράφεται η συγκεκριμένη εφαρμογή και οι βασικές λειτουργίες της.

Η λογισμική εφαρμογή η οποία αναπτύχθηκε, καλείται Capture Training Site Tools (Εικόνα 1) (CTS Tools), και βασίζεται σε περιβάλλον Visual Basic και τεχνολογίες GIS και GPS [5]. Το λογισμικό επιτρέπει την εισαγωγή δεδομένων, ενώ έχει πλήρεις δυνατότητες ψηφιοποίησης για οποιαδήποτε γεωγραφικά αντικείμενα (σημεία γραμμές πολύγωνα), με υποστήριξη εσωτερικής Βάσης Δεδομένων για ενημέρωση των αντίστοιχων πεδίων. Διαθέτει έτοιμους καταλόγους πληροφοριών [6] όπου ο χρήστης μπορεί να ορίσει την πληροφορία για τα πεδία του γεωγραφικού αντικειμένου που μόλις εισήγαγε. Επίσης, υποστηρίζει την εισαγωγή και τον συσχετισμό ηχητικών παρατηρήσεων και τη σύνδεση της Βάσης με ψηφιακές φωτογραφίες για τον έλεγχο των δεδομένων. Τέλος, έχει δυνατότητες για παραγωγή, ανάλυση και οπτικοποίηση χαρτών καθώς και τη δυνατότητα για άμεση επικοινωνία με οποιαδήποτε συνδεδεμένη με αυτό Βάση Δεδομένων. Παράλληλα λειτουργεί και σαν πλοηγός ενσωματώνοντας διαδικασίες προβολής θέσης και δρομολόγησης [7]. Η διεπιφάνεια του είναι

προσαρμοσμένη ώστε να λειτουργεί σε Tablet PC και υπολογιστή χειρός (PalmTop) με χρήση γραφίδας αλλά και σε. Laptop [8].



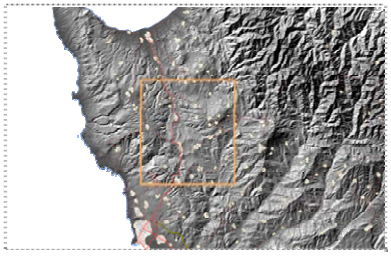
Εικόνα 3 : Το Περιβάλλον Λειτουργίας του Λογισμικού CTS Tools

2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ CTS TOOLS

Το λογισμικό αναπτύχθηκε και χρησιμοποιήθηκε με επιτυχία για τον έλεγχο των δηλωμένων καλλιεργειών στην Κύπρο και πιο συγκεκριμένα στην περιοχή της Πάφου, όπου γινόταν η καταγραφή κυρίως των καλλιεργειών στην περιοχή έρευνας με σημειακές παρατηρήσεις. Αυτές οι σημειακές παρατηρήσεις χρησιμοποιήθηκαν έπειτα για τη δημιουργία του συστήματος ταξινόμησης (Classification Scheme) και την ταξινόμηση διαχρονικών δορυφορικών εικόνων SPOT 5 σε βασικές καλλιέργειες της περιοχής (Crop Classification). Ένα ποσοστό των σημείων (περίπου 30%) δε χρησιμοποιήθηκε στην ταξινόμηση αλλά στον έλεγχο της ακρίβειας αυτής (Accuracy Assessment).

2.1 Περιοχή Μελέτης

Η περιοχή μελέτης βρίσκεται σε γεωγραφικό μήκος 32ο 26’ και πλάτος 34ο 45’, περιοχή της Πάφου νοτιοδυτικά της Κύπρου (εικόνα 2). Η έκταση της περιοχής έρευνας είναι 140 τ.χλμ. και το κλίμα της θεωρείται ημίξηρο έως ξηρό. Το μεγαλύτερο ποσοστό της έκτασης καλύπτεται από αγροτεμάχια. Κύριο χαρακτηριστικό της αγροτικής αυτής περιοχής είναι το μεγάλο πλήθος διαφορετικών καλλιεργειών που παρουσιάζονται καθώς και το μικρό μέγεθος των αγροτεμαχίων όπου πλήθος αυτών είναι μικρότερα από 0,3 εκτάρια. Ειδικότερα κοντά στην ακτή εμφανίζονται κυρίως μεγάλα αγροτεμάχια με ετήσιες καλλιέργειες όπως η αραχίδα (Arachis hupogaea) το σιτάρι (Triticum sp.), και διάφορες κηπευτικές καλλιέργειες., ενώ πιο βόρεια όπου υπάρχουν λοφώδεις περιοχές με έντονες κλίσεις παρουσιάζονται μικρότερα αγροτεμάχια με δενδρώδεις καλλιέργειες, χορτοδοτικά φυτά όπως ο βίκος (Vicia sativa) και αμπελώνες.



Εικόνα 2 :Περιοχή Μελέτης στην Πάφο

Από το πλήθος των αγροτεμαχίων και τη διαφορετικότητα του είδους των καλλιεργειών παρατηρείται η αναγκαιότητα για τη λήψη τόσο πολλών σημειακών παρατηρήσεων όσο και η δυνατότητα ελέγχου της ορθότητας αυτών που αποτελούν άλλωστε και αντικειμενικοί στόχοι της ανάπτυξης της εφαρμογής.

2.2 Μεθοδολογία λήψης των σημείων με το CTS

Η μεθοδολογία η οποία ακολουθήθηκε για τη συλλογή των δεδομένων μπορεί να χωριστεί σε τρία στάδια. Το πρώτο στάδιο περιλαμβάνει τη συλλογή του κατάλληλου εξοπλισμού και χαρτογραφικού υποβάθρου το δεύτερο στάδιο τη συλλογή των δεδομένων (σημεία, φωτογραφίες και ηχητικές παρατηρήσεις) και το τρίτο στάδιο την αποθήκευση και έλεγχο των αποτελεσμάτων

Κατά το πρώτο στάδιο λοιπόν συλλέχθηκε ο κατάλληλος εξοπλισμός όπως είναι το Tablet PC το οποίο ήταν συνδεδεμένο με GPS ακρίβειας πέντε μέτρων και όπου ήταν εγκατεστημένο το CTS Tools. Σε αυτό εισήχθη πολυφασματική δορυφορική εικόνα QuickBird υπέρ υψηλής χωρικής ακρίβειας για τη καλύτερη χωρική αντίληψη της περιοχής. Επίσης δημιουργήθηκαν τα κατάλληλα αρχεία για τη συλλογή των σημειακών παρατηρήσεων ενώ δημιουργήθηκε και κατάλληλη βάση δεδομένων - κατάλογος με τις καλύψεις γης οι οποίες παρουσιάζονται στην περιοχή. Αυτός κατάλογος είχε ως στόχο την άμεση εύρεση και αντιστοίχηση του σημείου που αναγνώριζε ο χρήστης με την κάλυψη γης χωρίς να χρειάζεται να πληκτρολογεί κατά τη διάρκεια της εργασίας στο πεδίο και αυξάνοντας μ' αυτόν τον τρόπο την ταχύτητα λήψης των σημείων. Για την γρήγορη εύρεση της κάλυψης γης από τον κατάλογο, ακολουθήθηκε ένα ιεραρχικό σύστημα ταξινόμησης με τη δημιουργία ενός αλφαριθμητικού κωδικού. Το πρώτο ψηφίο του κωδικού αποτελούταν από γράμμα και δήλωνε τη βασική κατηγορία κάλυψης γης, ενώ τα επόμενα τρία ήταν αριθμοί οι οποίοι δήλωναν ο καθένας με τη σειρά τους υποκατηγορίες της βασικής κατηγορίας.

Στο δεύτερο στάδιο έγινε η λήψη των σημείων. Με τη χρήση του CTS Tools όπου υπήρχε η δορυφορική εικόνα και το σήμα από το GPS, προσδιοριζόταν εύκολα η θέση στο πεδίο και τοποθετούνταν στο κέντρο του αγροτεμαχίου σημείο με το είδος της καλλιέργειας, ενώ παράλληλα λαμβάνονταν και φωτογραφίες. Επίσης με τη χρήση μικροφώνου που ήταν συνδεδεμένο στο Tablet PC γινόταν ηχητικές παρατηρήσεις κυρίως σε δύσβατες περιοχές ώστε να υπάρχει μία καλύτερη απεικόνιση αυτών των περιοχών.

Στο τρίτο στάδιο έγινε η αποθήκευση των δεδομένων που λήφθηκαν από το πεδίο και έπειτα σε περιβάλλον GIS υπερτέθηκαν τα σημεία πάνω στη δορυφορική εικόνα και έγινε η σύνδεση (Hyperlink) των σημείων με τις φωτογραφίες και τις ηχητικές παρατηρήσεις. Χρησιμοποιώντας όλα τα παραπάνω έγινε η αξιολόγηση της ορθότητας των σημείων και η διερεύνηση τυχόν λανθασμένων παρατηρήσεων.

2.3 Χρήσης της εφαρμογής CTS κατά την διαδικασία λήψης των σημείων

Το Λογισμικό CTS_Tools παρέχει πολλές δυνατότητες στον χρήστη κατά την διενέργεια των εργασιών πεδίου. Η πρώτη δυνατότητα είναι η σύνδεση του λογισμικού με GPS μέσω τεχνολογίας DDE (Dynamic Data Exchange) [9] και η δρομολόγηση, απεικόνιση και αποθήκευση του σήματος του για συνεχή καταγραφή της γεωγραφικής θέσης. Με τον τρόπο αυτό ο χειριστής γνωρίζει την θέση και κατεύθυνση του σε σχέση με τον χάρτη αναφοράς (π.χ. δορυφορική εικόνα). Επίσης, διαχειρίζεται και απεικονίζει χαρτογραφικά υπόβαθρα σε μορφή καννάβου (raster), όπως είναι οι δορυφορικές εικόνες και σε μορφή διανύσματος (vector), τα οποία ο χρήστης επιλέγει ανάλογα με τις συνθήκες. Παράλληλα, γίνεται η καταγραφή των νέων γεωγραφικών αντικειμένων και η ενημέρωση τους [10].

Ειδικότερα, το λογισμικό δίνει τη δυνατότητα, στον χρήστη, για την εισαγωγή των γεωγραφικών αντικειμένων τα οποία αποτελούν τα δεδομένα υπαίθρου και μπορούν να αναπαρασταθούν τόσο ως σημεία, γραμμές και πολύγωνα (π.χ. σημεία για τα Training Site). Με την τοποθέτηση των αντικειμένων, αυτόματα στη βάση δεδομένων ενημερώνονται τέσσερα πεδία: Δύο με τις γεωγραφικές συντεταγμένες (x,y) στο προβολικό σύστημα που έχει ορίσει ο χρήστης και δύο πεδία με την ημερομηνία και ώρα λήψης των αντικειμένων. Μετά τη λήψη των αντικειμένων ζητείται από το χρήστη να ορίσει τον τύπο κάλυψης γης ο οποίος εισάγεται από το χρήστη είτε πληκρολογώντας είτε με επιλογή από συγκεκριμένο κατάλογο ο οποίο έχει δημιουργηθεί εκ των προτέρων. Επιπλέον, ο χρήστης έχει τη δυνατότητα επιλογής ηχογραφημένων παρατηρήσεων (αφού έχει συνδεθεί ο υπολογιστής χειρός με όργανο καταγραφής) για κάθε γεωγραφικό αντικείμενο. Το ίδιο μπορεί να γίνει και με τη λήψη ψηφιακών φωτογραφιών όπου επιπλέον μπορεί να καταγραφεί και η θέση και η διεύθυνση λήψης της φωτογραφίας καθώς και ο τύπος της (μακρινή, κοντινή και πανοραμική λήψη).

2.4 Σύγκριση της μεθοδολογίας, με άλλες μεθόδους συλλογής δεδομένων υπαίθρου

Η ανάπτυξη της εφαρμογής πραγματοποιήθηκε με γνώμονα την επίτευξη της μέγιστης χρηστικότητας και ταχύτητας του κατά την διενέργεια εργασιών πεδίου. Διαφορετικές μεθοδολογίες αλλά και λογισμικά έχουν χρησιμοποιηθεί για ανάλογες εργασίες υπαίθρου, Οι πρώτες εργασίες πεδίου για παράδειγμα χρησιμοποιούσαν μόνο αναλογικούς χάρτες με αποτέλεσμα τον μεγάλο χρόνο και κόστος για τη πραγματοποίησή τους ενώ τα τελευταία χρόνια χρησιμοποιούνται ηλεκτρονικά μέσα όπως GPS και λογισμικά για τη συλλογή των δεδομένων.

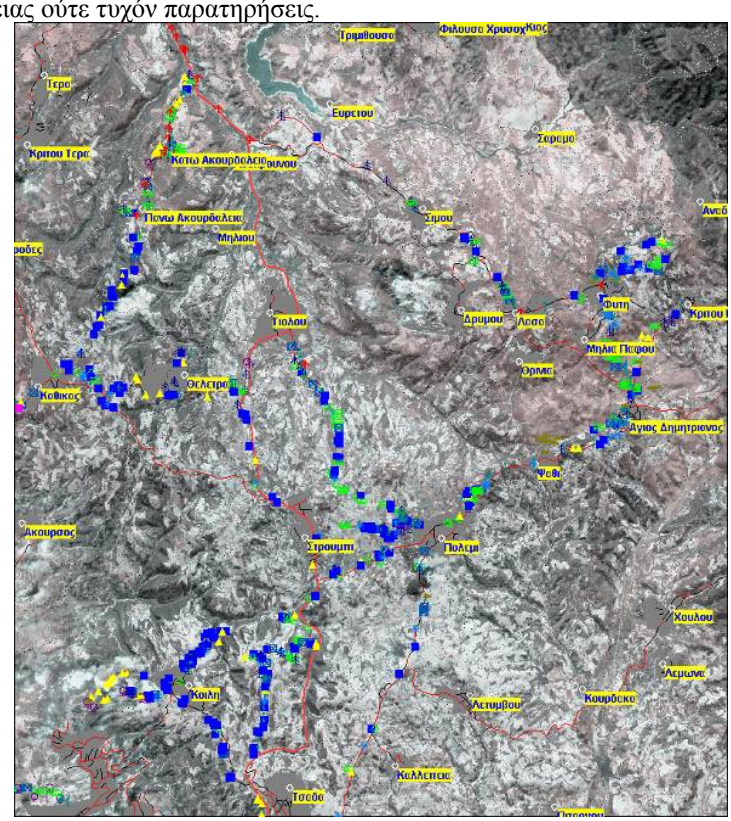
Τα πλεονεκτήματα της υπάρχουσας μεθοδολογίας είναι ότι δεν απαιτείται η μεταφορά αναλογικών χαρτών αλλά παρέχεται η δυνατότητα χρήσης ψηφιακών υποβάθρων καθώς και η εργασία του προσωπικού γίνεται λιγότερο επίπονη. Αυτό συμβαίνει για δύο λόγους. Πρώτον με τη χρήση του συνδεδεμένου GPS με το λογισμικό δεν απαιτείται η έξοδος του από το όχημα για την καταγραφή ενός σημείου γιατί είναι εύκολος ο προσανατολισμός και επίσης γιατί το λογισμικό δεν απαιτεί την εισαγωγή περιγραφικών πληροφοριών μειώνοντας παράλληλα και τον χρόνο εργασίας.

Επίσης, δίδει τη δυνατότητα για την ευκολότερη αξιοποίηση των δεδομένων στο γραφείο αφού είναι έτοιμα για αξιοποίηση από οποιαδήποτε πλατφόρμα λογισμικού γεωγραφικού συστήματος πληροφοριών και τηλεπισκόπησης.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ CTS TOOLS

Η εργασία πεδίου στην περιοχή της Πάφου διήρκεσε τρεις ημέρες, καλύπτοντας πάνω από το 90% της περιοχής μελέτης και λαμβάνοντας συνολικά 1257 παρατηρήσεις δηλαδή πάνω από 400 την ημέρα αριθμό πολύ ικανοποιητικό (Εικόνα 3). Η συλλογή αυτών των σημείων οφείλεται κυρίως στη δυνατότητα του λογισμικού να παρέχει έτοιμο

κατάλογο των καλύψεων γης και ειδικά των καλλιεργειών καθώς και τη δυνατότητα των ηχητικών παρατηρήσεων οι οποίες συνδέονται αυτόματα με τα σημεία, επομένως η διαδικασία λήψης των σημείων επιταχύνεται γιατί μειώνεται ο χρόνος καταγραφής του κάθε σημείου αφού δεν απαιτείται από το χρήστη να πληκτρολογεί ούτε το είδος της καλλιέργειας ούτε τυχόν παρατηρήσεις.



Εικόνα 3 : Θεματικός χάρτης κάλυψης περιοχής ελέγχου με σημεία εκπαίδευσης στην Πάφο. Το Υπόβαθρο είναι η δορυφορική εικόνα QuickBird

Επίσης η χρήση της δορυφορικής εικόνας υπέρ – υψηλής χωρικής διακριτικής ικανότητα ως χαρτογραφικού υπόβαθρου στο λογισμικό, βοήθησε στην ακρίβεια των αποτελεσμάτων αφού μετά τον έλεγχο των σημείων βρέθηκαν 1188 σημεία τα οποία λήφθηκαν ορθά δηλαδή ποσοστό 94.51%. Το μεγαλύτερο μέρος αυτών των σημείων συμμετείχε στην ταξινόμηση των δορυφορικών εικόνων και ένα άλλο μέρος στην εκτίμηση ακρίβειας της και βρέθηκε ότι είναι 81%, ένα υψηλό ποσοστό αν λάβει κανείς υπόψη τον κατακερματισμό της περιοχής σε διαφορετικές καλλιέργειες.

Η σπουδαιότητα της πληροφορίας των σημειακών δεδομένων εκπαίδευσης είναι πολύ σημαντική είναι για όλη την μεθοδολογία ελέγχων με τηλεπισκόπηση. Έχει βρεθεί ότι περίπου 30 έως 50 δειγματοληπτικές περιοχές για κάθε κλάση θεωρούνται αρκετές για την ταξινόμηση μίας δορυφορικής εικόνας [11]. Στην προκειμένη περίπτωση και μέσα σε μικρό χρονικό διάστημα ήταν η δυνατή η λήψη περισσότερων από 1000 σημείων με τη χρήση των εξειδικευμένων εργαλείων και του προσαρμοσμένου λογισμικού για την ταξινόμηση της περιοχής σε 11 κλάσεις συλλέγοντας με αυτόν τον τρόπο σχεδόν διπλάσιο αριθμό σημείων από τον απαιτούμενο.

Το κόστος της εργασίας περιορίζεται αρκετά από τις υπόλοιπες κλασικές μεθόδους συλλογής δεδομένων γιατί δεν απαιτείται μεγάλος εξοπλισμός παρά μόνο ένας

υπολογιστής χειρός ή Tablet PC με συνδεδεμένο GPS και μικρόφωνο, ψηφιακή φωτογραφική μηχανή καθώς και κατάλληλο όχημα για τη γρήγορη μετακίνηση του συνεργείου στην περιοχή, ενώ δεν είναι απαραίτητο ένα πολυπληθές ανθρώπινο δυναμικό. Συνήθως απαιτούνται τρία άτομα: ο οδηγός του οχήματος ο χρήστης του λογισμικού καθώς και ένα επιπλέον άτομο που έχει την ευθύνη για τη λήψη των φωτογραφιών και της πορείας που πρέπει να ακολουθηθεί.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Παραπάνω έγινε η αναφορά στην ανάπτυξη και χρήση της λογισμικής εφαρμογής CTS Tools, κατάλληλης για τη συλλογή δεδομένων πεδίου τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην ανάλυση και επεξεργασία δορυφορικών δεδομένων όπως είναι η ταξινόμηση. Η εφαρμογή χρησιμοποιήθηκε με επιτυχία στην αναγνώριση των καλλιεργειών με τηλεπισκόπηση στην Πάφο της Κύπρου, όπου λήφθηκαν πάνω από 400 σημειακές παρατηρήσεις ημερησίως καλύπτοντας πάνω από το 90% της περιοχής μελέτης μέσα σε τρεις ημέρες.

Γενικά το προσαρμοσμένο λογισμικό βοήθησε στην μείωση του χρόνου εργασίας γιατί δεν απαιτεί την εισαγωγή περιγραφικών πληροφοριών, μια διαδικασία επίπονη στο πεδίο, με πολύ ικανοποιητικά αποτελέσματα στην ακρίβεια των αποτελεσμάτων λόγω του ότι υποστηρίζει την εισαγωγή χαρτογραφικού υπόβαθρου, όπως είναι οι δορυφορικές εικόνες και υποστηρίζει καταγραφή και σύνδεση των πληροφοριών με φωτογραφίες και ηχητικές παρατηρήσεις, ενώ ελαχιστοποιείται το ανθρώπινο δυναμικό που απαιτείται.

Τέλος, ο σκοπός είναι μελλοντικά το προσαρμοσμένο λογισμικό να χρησιμοποιηθεί και σε άλλες περιοχές έρευνας όπου θα απαιτείται η μελέτη άλλων βιοφυσικών αντικειμένων όπως δασικά και υγροτοπικά οικοσυστήματα για να μελετηθούν οι διάφορες επιπλέον απαιτήσεις ώστε να βελτιωθεί και να αποτελέσει βασικό εργαλείο για κάθε εργασία πεδίου.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Συλλαίος, Ν., 1999. Εισαγωγή στην τηλεπισκόπηση και τα γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών, 2η εκ. Γιαχούδη Γιαπούλη, Θεσσαλονίκη Ελλάδα, 18 σελ.
2. Fitzpatrick-Lins, K., 1981. Comparison of sampling procedures and data analysis for a land-use and land-cover map. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 58(9): 1343-1350.
3. Stehman, S., 1992. Comparison of systematic and random sampling for estimating the accuracy of maps generated from remotely sensed data. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 47(3): 343-351
4. Congalton, R.G. and Green K., 2001. Assessing the accuracy of remotely sensed data: prince les and practices. Lewis London U.K. 23 pp.
5. Lanza E., Λιαπάκης Χ., και Μπαλής Β., 2002. Νέες αναδυόμενες αγορές για εφαρμογές που συνδυάζουν τις τεχνολογίες GPS και GIS. Πρακτικά 2ου Συνεδρίου Ελληνικής Εταιρείας Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών, Αθήνα, Ελλάδα - 28 Φεβρουαρίου και 1 Μαρτίου 2002.
6. Ανδρουλακάκης Ν., Βουγιουκαλάκης Γ. και Ξενάκης Μ., 2003, Συλλογή στοιχείων στο ύπαιθρο, για την Γεωθερμική έρευνα. Συνέδριο Ελληνικής Εταιρείας Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών - Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών Εν Κινήσει, Αθήνα, Ελλάδα -Ιούνιος 2003.
7. Gong, J., Tarasewich P., 2004, Guidelines for Handheld Mobile Device Interface Design, Proceedings of DSI June 2004

8. Holzner S., 1998. Visual Basic 6 Black Book. The Coriolis Group, 1020 pp.
9. Κουκοπούλου Τ., 2003, Εφαρμογή τεχνολογιών GPS, Γ.Σ.Π. σε υπολογιστές χειρός και κινητών τηλεπικοινωνιών στην ενημέρωση του κτηματολογίου. Συνέδριο Ελληνικής Εταιρείας Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών - Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών Εν Κινήσει, Αθήνα, Ελλάδα - Ιούνιος 2003.
10. Hermann, F., Heidmann, F., 2002, User Requirement Analysis and Interface Conception for Mobile, Location-Based Fair Guide. Proceedings of the 4th International Symposium Mobile HCI, Berlin, German September 2002.
11. Mather P.M., 1999. Computer Processing of remotely sensed images: An introduction. 2nd edition John Wiley, Chichester, England, 42 pp.

(191)

ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΗΣ ΦΩΤΟΚΑΤΑΛΥΤΙΚΗΣ ΟΞΕΙΔΩΣΗΣ ΜΕ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΗΝ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΤΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΣΤΟΝ ΑΓΡΟΤΙΚΟ ΤΟΜΕΑ

Ι. Πούλιος[1], Ι. Τρυπαναγνωστόπουλος[2]
Τμήμα Χημείας ,Εργ. Φυσικής Χημείας, ΑΠΘ, 54124 Θες/νικη Τηλ. 2310-997785,
e-mail: poulios@chem.auth.gr
Τμήμα Φυσικής, Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα 26504, Τηλ: 2610-997472,
e-mail: yiantrip@physics.upatras.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εργασία αυτή προτείνεται η φωτοκαταλυτική οξείδωση (ομογενής και ετερογενής) ως καινοτόμος μέθοδος επεξεργασίας υγρών αποβλήτων που περιέχουν φυτοφάρμακα και που προέρχονται από την πλύση των κενών δοχείων συσκευασίας ή από την πλύση των ψεκαστικών μηχανημάτων. Η φωτοκαταλυτική μέθοδος αδρανοποίησης τοξικών ρύπων παρουσιάζει, εκτός από την αποτελεσματικότητα της, το πλεονέκτημα της χρησιμοποίησης καταλυτών *χημικά και βιολογικά αδρανών,* που μπορούν να ανακυκλωθούν και ενεργοποιούνται επιτυχώς από την ηλιακή ακτινοβολία. Μεταξύ των διατάξεων που αξιοποιούν την ηλιακή ακτινοβολία είναι και οι συσκευές διαφανών σωλήνων ροής του απόβλητου υγρού εντός ακίνητων σύνθετων παραβολικών κατόπτρων ή και απλούστερα σε συνδυασμό με επίπεδα κάτοπτρα που τοποθετούνται πίσω από τους σωλήνες ή/και εμπρός από αυτούς, για να αυξήσουν την προσπίπτουσα στους σωλήνες ηλιακής ακτινοβολίας. Η φωτοκαταλυτική οξείδωση σε συνδυασμό με τον κατάλληλο ηλιακό αντιδραστήρα παρέχει μια αντιρρυπαντική μέθοδο που στην κυριολεξία ανήκει στις *καθαρές (οικολογικές) τεχνολογίες* επεξεργασίας υγρών αποβλήτων, με τη βοήθεια της οποίας επέρχεται η πλήρης καταστροφή και όχι η μεταφορά των διαφόρων τοξικών/επιβλαβών ουσιών από τη μία φάση σε μια άλλη.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο πλαίσιο αναζήτησης νέων αποτελεσματικών και φιλικών προς το περιβάλλον μεθόδων, με σκοπό την αδρανοποίηση των οργανικών ρύπων και των παθογόνων μικροοργανισμών που συναντώνται στο νερό και στον αέρα, μπορεί να ενταχθεί και το αυξανόμενο ενδιαφέρον τελευταία για τη χρησιμοποίηση των λεγόμενων *"Προχωρημένων Οξειδωτικών Μεθόδων Αντιρρύπανσης(Advanced Oxidation Processes)" (ΠΟΜΑ)* [1,2]. Με τον όρο αυτό εννοούνται εκείνες οι τεχνολογίες οι οποίες στηρίζονται στην χρήση μεθόδων όπως π.χ φωτόλυση (UV-C, B), O_3/UV-B, H_2O_2/UV-B, Photo-Fenton, O_3/H_2O_2/UV-B ή TiO_2/UV-A, κ.α. Η αποτελεσματικότητα τους στηρίζεται στην δημιουργία των *ριζών του υδροξυλίου (OH·),* οι οποίες με δυναμικό αναγωγής 2.8 V αποτελούν το ισχυρότερο οξειδωτικό μέσο μετά το φθόριο και επιπλέον δεν προκαλούν δευτερογενή ρύπανση του περιβάλλοντος .

Στόχος της παρούσας εργασίας είναι η αντιμετώπιση του προβλήματος των παραγόμενων τοξικών υγρών αποβλήτων που δημιουργούνται από την πλύση των κενών συσκευασίας φυτοφαρμάκων και από την πλύση των ψεκαστικών μηχανημάτων, με στόχο την προστασία της ποιότητας των υπογείων και επιφανειακών υδάτων.

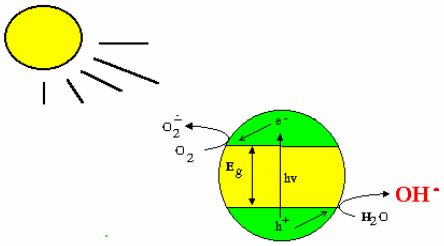
Οι ποσότητες των φυτοφαρμάκων που χρησιμοποιούνται κάθε χρόνο τόσο στην Ελλάδα, όσο και παγκοσμίως, για την προστασία των καλλιεργειών είναι πολύ μεγάλες. Πρόκειται για πολύπλοκες οργανικές ενώσεις οι οποίες δεν υπάρχουν στη φύση και οι οποίες λόγω της υψηλής τους τοξικότητας μπορούν να αποτελέσουν σημαντικό κίνδυνο για τους ζώντες οργανισμούς, καθώς και για την ισορροπία των βιοσυστημάτων. Η εκτεταμένη και σε πολλές περιπτώσεις άναρχη χρήση των χημικών αυτών ουσιών για την προστασία των καλλιεργειών έχει οδηγήσει στη ρύπανση τόσο των επιφανειακών όσο και των υπόγειων νερών [3,4].

Σκοπός του έργου είναι η εισαγωγή μιας καινοτομικής αντιρρυπαντικής τεχνολογίας, της *φωτοκαταλυτικής οξείδωσης (ετερογενής ή ομογενής),* στην επεξεργασία και αδρανοποίηση των παραγόμενων υγρών αποβλήτων πριν από τη διάθεση τους σε κάποιο φυσικό αποδέκτη, χρησιμοποιώντας ως πηγή ενέργειας το ηλιακό φως και αξιοποιώντας με τον τρόπο αυτό τις ειδικές κλιματολογικές συνθήκες της Ελλάδος. Επιπλέον αποτελούν μεθόδους οι οποίες εκτός του ότι αξιοποιούν ουσιαστικά τις ήπιες μορφές ενέργειας, λόγω της δυνατότητας ενεργοποίησης των καταλυτών με τη βοήθεια του ηλιακού φωτός, συμβάλλουν όχι απλώς στην επιβράδυνση (π.χ. μη οξειδωτικές μέθοδοι), αλλά στην αναστροφή της τάσης υποβάθμισης του περιβάλλοντος. Πρόκειται για μεθόδους, *οι οποίες μιμούνται πρακτικά την φύση* (αυτοκαθαρισμός με τη βοήθεια του οξυγόνου της ατμόσφαιρας και του ηλιακού φωτός), η παρεμβολή δε των καταλυτών επιταχύνει τη διαδικασία καθαρισμού κατά πολλές τάξεις μεγέθους.

1.1 Ετερογενής φωτοκατάλυση (TiO_2/UV-A):

Η ανάμειξη του προς καθαρισμό αποβλήτου με έναν ημιαγώγιμο καταλύτη, ο οποίος είναι χημικά και βιολογικά αδρανής (π.χ. TiO_2) και ο φωτισμός του συστήματος με τεχνητό ή ηλιακό φως δημιουργεί εντός του καταλύτη ιδιαίτερα ισχυρά οξειδωτικά και αναγωγικά σωματίδια, τις οπές (h^+) και τα ηλεκτρόνια (e^-) αντίστοιχα, εκ των οποίων οι φωτοδημιουργούμενες οπές οξειδώνουν τα ιόντα OH^- ή τα μόρια του H_2O, που είναι προσροφημένα στην επιφά-νεια του ημιαγωγού, προς τις αντίστοιχες ρίζες του υδροξυλίου (OH·). Οι ρίζες αυτές αποτελούν το <u>κύριο οξειδωτικό μέσο</u>, το οποίο προσβάλλει τα διάφορα οργανικά μόρια, που βρίσκονται στα υγρά απόβλητα και μέσω των υπεροξειδικών ριζών τα αποικοδομεί προς CO_2 και ανόργανα άλατα (Σχήμα 1). Λόγω δε του υψηλού δυναμικού αναγωγής των ριζών αυτών (2.8 V), είναι δυνατή η

προσβολή και ανοργανοποίηση πρακτικά όλων των οργανικών ρύπων, που συναντώνται στην υγρή και στην αέρια φάση.



$$\text{R-H} + \text{OH}^{\cdot} \longrightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$$

Σχήμα 1: Ετερογενής φωτοκαταλυτική οξείδωση οργανικών ρύπων παρουσία του ηλιακού φωτός

1.2 Ομογενής φωτοκατάλυση (Αντιδραστήριο Photo-Fenton, Fe^{3+}/H_2O_2/UV-A):

Το αντιδραστήριο Fenton (μίγμα Fe^{2+} και H_2O_2) είναι γνωστό για την ικανότητα του να οξειδώνει μία σειρά οργανικών ρύπων στα υγρά απόβλητα. Η οξειδωτική του ικανότητα είναι αποτέλεσμα της δημιουργίας των ελευθέρων ριζών του $OH^{\cdot}$ και της προσβολής από αυτές των οργανικών ουσιών στα προς επεξεργασία (υγρά ή στερεά) απόβλητα. Μειονέκτημα της μεθόδου όμως, αποτελεί το γεγονός ότι η συνδυαστική δράση του συστήματος H_2O_2/Fe^{+2} μειώνεται δραστικά, από τη στιγμή που ο δισθενής σίδηρος έχει μετατραπεί σε τρισθενή (Εξ. 1), με αποτέλεσμα την κατανάλωση σημαντικών ποσοτήτων από τα προαναφερθέντα αντιδραστήρια και τη δημιουργία μεγάλων ποσοτήτων λάσπης. Η αποτελεσματικότητα και η απόδοση όμως της συγκεκριμένης μεθόδου μπορεί να αυξηθεί θεαματικά κατά τον φωτισμό του συστήματος με τεχνητό ή ηλιακό φως (αντιδραστήριο Photo-Fenton). Αποτέλεσμα του φωτισμού είναι η επιπλέον δημιουργία ριζών του $OH^{\cdot}$, η μικρότερη ποσότητα λάσπης λόγω της ανακύκλωσης του καταλύτη (Fe^{2+}) ως αποτέλεσμα του φωτισμού (Εξ. 2), καθώς και η πλήρης οξείδωση (ανοργανοποίηση) των περισσοτέρων οργανικών ενώσεων.

$$Fe^{2+} + H_2O_2 \rightarrow Fe^{3+} + OH^{\bullet} + OH^{-} \text{ (Αντιδραστήριο Fenton)} \quad (1)$$

$$Fe^{3+} + H_2O + h\nu\ (\lambda<450nm) \rightarrow Fe^{2+} + OH^{\cdot} + H^{+} \quad (2)$$

$$R\text{-}H + OH^{\cdot} \rightarrow ROO^{\cdot} \rightarrow \rightarrow CO_2 + H_2O \quad (3)$$

Η φωτοκαταλυτική οξείδωση (ομογενής ή ετερογενής) ως μέθοδος αντιρρύπανσης, παρουσιάζει σε σχέση με τις υπόλοιπες οξειδωτικές μεθόδους (O_3, H_2O_2/UV, κτλ) το μεγάλο πλεονέκτημα, ότι η απαραίτητη για την ενεργοποίηση του καταλύτη φωτεινή ενέργεια προέρχεται από το κοντινό υπεριώδες και την ορατή περιοχή του ηλιακού φάσματος (300-450 nm). Το γεγονός αυτό καθιστά ικανή την ενεργοποίηση του εξίσου αποτελεσματικά και με τη βοήθεια του ηλιακού φωτός, κάτι πολύ σημαντικό σε περιοχές με μεγάλη ηλιοφάνεια [6].

Πρόκειται για μεθόδους, οι οποίες μιμούνται πρακτικά την φύση, η παρεμβολή δε των καταλυτών επιταχύνει την διαδικασία καθαρισμού κατά πολλές τάξεις μεγέθους.

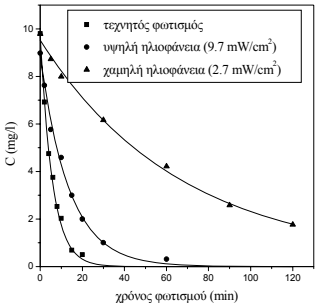
2. ΦΩΤΟΚΑΤΑΛΥΤΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

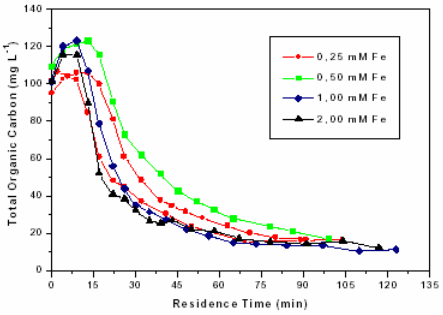
Το έντονο ενδιαφέρον που εκδηλώθηκε τελευταία παγκοσμίως για τις προαναφερθείσες μεθόδους, οδήγησε στην εργαστηριακή και πιλοτική μελέτη οξείδωσης πολύ μεγάλου αριθμού ενώσεων από τις κυριότερες ομάδες οργανικών ρύπων που συναντώνται στα υγρά απόβλητα, στον αέρα και στο έδαφος, όπως π.χ. χρωστικές ουσίες, χλωροφαινόλες, διοξίνες, τασενεργές ουσίες, πετρελαιοειδή, φυτοφάρμακα, κλπ. και γενικά, τοξικές και μη βιοαποικοδομήσιμες χημικές ουσίες. Ενδεικτικά στον Πιν. 1 δίδεται ο χρόνος υποδιπλασιασμού της συγκέντρωσης ($\tau_{1/2}$) διαφόρων φυτοφαρμάκων μετά τη φωτοκαταλυτική τους επεξεργασία, ενώ στα Σχ. 2-3 δίδεται γραφικά η φωτοκαταλυτική διάσπαση του ζιζανιοκτόνου Triclopyr παρουσία τεχνητού και ηλιακού φωτός, καθώς και η επεξεργασία αποβλήτων που προέρχονται από την πλύση κενών δοχείων συσκευασίας φυτοφαρμάκων παρουσία ηλιακού φωτός.

Σημαντική επίσης παράμετρο αποτελεί και η δραστική μείωση της τοξικότητας των επεξεργασμένων εκροών γεγονός το οποίο επιτρέπει την επιπλέον επεξεργασία τους με βιολογικές μεθόδους.

Πίνακας 1:Χρόνος υποδιπλασιασμού της συγκέντρωσης διαφόρων φυτοφαρμάκων μετά τη φωτοκαταλυτική τους οξείδωση.

Φυτοφάρμακο	**$\tau_{1/2}$ (min)**	**Φυτοφάρμακο**	**$\tau_{1/2}$ (min)**
Diuron	75	Prometryn	20
Acrinathrin	50	Monocrotophos	25
Alachlor	15	Molinate	25





Σχήμα 2: Φωτοκαταλυτική οξείδωση του ζιζανιοκτόνου Triclopyr παρουσία τεχνητού και ηλιακού φωτός.

Σχήμα 3: Φωτοκαταλυτική αδρανοποίηση και μείωση του ολικού οργανικού άνθρακα Υγρών αποβλήτων που περιέχουν μίγμα 10 διαφορετικών φυτοφαρμάκων παρουσία του ηλιακού φωτός[8].

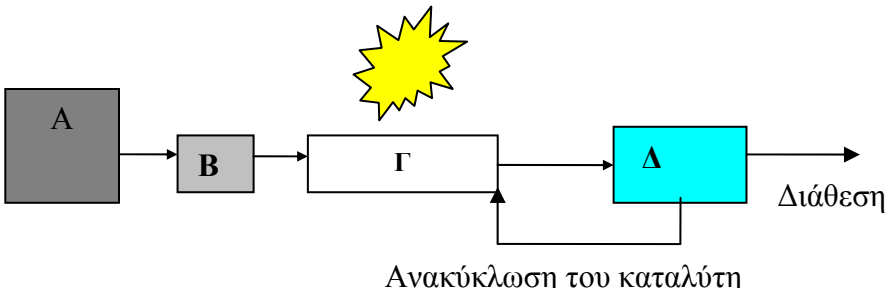
3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Η φωτοκαταλυτική οξείδωση και η αδρανοποίηση των υγρών αποβλήτων που περιέχουν φυτοφάρμακα αποτελεί μέρος μιας ευρύτερης προσπάθειας προστασίας των επιφανειακών και υπογείων υδάτων από την άναρχη διασπορά των κενών δοχείων συσκευασίας τα οποία περιέχουν υπολλείματα φυτοφαρμάκων των συγκεκριμένων τοξικών ουσιών και από το νερό που χρησιμοποιείται για το ξέπλυμα των ψεκαστικών μηχανημάτων. Στην τελευταία περίπτωση το νερό καθαρισμού των μηχανημάτων αυτών, το οποίο περιέχει σημαντικές ποσότητες φυτοφαρμάκων διατείθεται

αναξέλεγκτα στο έδαφος ή σε παρακείμενους υδάτινους αποδέκτες. Με το τρόπο αυτό δημιουργούνται πηγές ρύπανσης οι οποίες εξαιτίας της μεγάλης διασποράς τους θεωρούνται μη-σημειακές και επομένως είναι πολύ δύσκολα ελεγχόμενες.

Η προσπάθεια περιλαμβάνει σαν πρώτο στάδιο τη δημιουργία δικτύου συλλογής των κενών συσκευασίας φυτοφαρμάκων, ενώ σαν δεύτερο στάδιο προβλέπεται η πλύση των συλλεχθέντων δοχείων καθώς και των ψεκαστικών μηχανημάτων και η συλλογή των παραγώμενων υγρών τοξικών αποβλήτων. Ο στόχος της παρούσας εργασίας επικεντρώνεται στην φωτοκαταλυτική επεξεργασία των υγρών αποβλήτων παρουσία ηλιακού φωτός, τα οποία περιέχουν φυτοφάρμακα, διαλύτες, κ.τ.λ. και τα οποία πρέπει να αδρανοποιηθούν κατάλληλα πριν τη διάθεση τους σε κάποιο φυσικό αποδέκτη.

Για το λόγο αυτό έγινε ο σχεδιασμός μιας απλής και ευέλικτης πιλοτικής μονάδας επίδειξης για την φωτοκαταλυτική επεξεργασία των προαναφερθέντων αποβλήτων, η οποία διακρίνεται για την απλότητα της, το χαμηλό της κόστος και την αποτελεσματικότητα της (βλέπε Σχ. 4).



Σχήμα 4: Διάγραμμα ροής της εγκατάστασης φωτοκαταλυτικής επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων από την πλύση κενών δοχείων συσκευασίας φυτοφαρμάκων, (Α) Δεξαμενή συγκέντρωσης ανεπεξέργαστων λυμάτων, (Β) Δεξαμενή προεπεξεργασίας, (Γ)Φωτοκατα-λυτικός αντιδραστήρας, (Δ) Δεξαμενή συλλογής επεξεργασμένων λυμάτων και καταλύτη.

4. ΦΩΤΟΚΑΤΑΛΥΤΙΚΟΙ ΗΛΙΑΚΟΙ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΕΣ

Η χρησιμοποίηση του ηλιακού φωτός για την ενεργοποίηση των καταλυτών αποτελεί σημαντικό παράγοντα δραστικής μείωσης των λειτουργικών εξόδων. Επιπλέον καθίσταται δυνατή η εφαρμογή της μεθόδου σε μεγάλης κλίμακας εγκαταστάσεις, όπου η χρησιμοποίηση λαμπτήρων κρίνεται πλήρως αντιοικονομική. Πιλοτικές εγκαταστάσεις φωτοκαταλυτικής επεξεργασίας πόσιμου ύδατος ή υγρών αποβλήτων με τη βοήθεια του ηλιακού φωτός λειτουργούν ήδη στα ερευνητικά κέντρα SANDIA και SERI των ΗΠΑ, στις εγκαταστάσεις της ΕΟΚ στην Ισπανία (Plataforma Solar de Almeira), ενώ πρόσφατα έχει κατασκευασθεί και στον ελλαδικό χώρο (ΧΥΤΑ Δήμου Ρεθύμνης) μονάδα επίδειξης, η οποία παρέχει τη δνατότητα ταυτόχρονης λειτουργίας, τόσο της ετερογενούς όσο και τη ομογενούς φωτοκαταλυτικής οξείδωσης.

Για την την όσο το δυνατόν αποτελεσματικότερη αξιοποίηση της ηλιακής ακτινοβολίας στην φωτοκαταλυτική επεξεργασία των υγρών αποβλήτων, επιδιώκεται η διαμόρφωση διατάξεως που επιτρέπει τη συγκέντρωση και την αποτελεσματική απορρόφησή της. Οι πιο συνήθεις διατάξεις βασίζονται στη χρήση ακίνητων σύνθετων παραβολικών κατόπτρων (CPC) που συγκεντρώνουν το ανακλώμενο φως στην επιφάνεια διαφανούς σωλήνα εντός του οποίου ρέει το απόβλητο υγρό.

Σχήμα 5: Φωτοκαταλυτικός αντιδραστήρας βασιζόμενος σε παραβολικά Κάτοπτρα (CPC).

Έχουν επίσης δοκιμαστεί και πιο ισχυρές φωτοκαταλυτικές συσκευές με παραβολικά κάτοπτρα που στην γραμμική εστία τους βρίσκεται ο διαφανής σωλήνας ροής του υγρού. Τα συστήματα αυτά όμως απαιτούν μηχανισμό συνεχούς προσανατολισμού στον ήλιο.

Με βάση την μακρόχρονη εμπειρία του Τμήματος Φυσικής του Πανεπιστημίου Πατρών στην σχεδίαση και πειραματική μελέτη νέων τύπων συγκεντρωτικών ηλιακών συσκευών [9-13] προτείνεται η χρήση απλών διατάξεων συγκέντρωσης της ηλιακής ακτινοβολίας στους σωλήνες ροής του απόβλητου υγρού Η πιο απλή διάταξη είναι η τοποθέτηση επίπεδου ανακλαστήρα πίσω από τους διαφανείς σωλήνες, οι οποίοι είναι τοποθετημένοι με τρόπο που το ηλιακό φως μπορεί να διέρχεται ανάμεσα στους σωλήνες , να ανακλάται από το κάτοπτρο, να προσπίπτει στην επιφάνεια των σωλήνων και να απορροφάται από το ρέον απόβλητο υγρό.

Βελτίωση της διάταξης αυτής είναι και η τοποθέτηση επίπεδων κατόπτρων μεταξύ των παράλληλων σειρών των σωληνωτών απορροφητών (booster reflectors), ώστε να ενισχύεται η ποσότητα του προσπίπτοντος ηλιακού φωτός στην κύρια ηλιακή διάταξη. Η χρήση ενισχυτικού κατόπτρου μπορεί να εφαρμοστεί και σε διάταξη κατόπτρων CPC-σωλήνων ροής απόβλητου υγρού για την επίτευξη ακόμη πιο αποτελεσματικής φωτοκαταλυτικής επεξεργασίας. Η διάταξη του ακίνητου ενισχυτικού κατόπτρου επιτυγχάνει αύξηση της απορροφούμενης ηλιακής ακτινοβολίας που μπορεί να ξεπεράσει και το 50%, κυρίως από την άνοιξη μέχρι και το φθινόπωρο.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα περιβαλλοντικά οφέλη που θα προκύψουν από τη λειτουργία μιας μονάδας φωτοκαταλυτικής επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων που περιέχουν υπολλείμματα φυτοφαρμάκων, είναι τα εξής:

(α) Ευαισθητοποίηση των κατοίκων της περιοχής ως προς την επικινδυνότητα των συγκεκριμένων προϊόντων και ταυτόχρονα, ως προς την ύπαρξη μεθόδων ικανών να παρεμβαίνουν ουσιαστικά στην επίλυση του προβλήματος.

(β) Μείωση ή/και πλήρη καταστροφή των τοξικών και επικίνδυνων οργανικών και οργανομεταλλικών ρύπων με τη χρήση μιας φιλικής προς το περιβάλλον οξειδωτικής μεθόδου.

(γ) Προστασία τόσο του εδάφους όσο και των υπόγειων υδάτων, από την άναρχη ρύπανση τους με τους συγκεκριμένους ρύπους. Επιπλέον, με τη φωτοκαταλυτική οξείδωση επιτυγχάνεται η επίλυση και όχι η μεταφορά του προβλήματος από την υγρή στη στερεή φάση.

(δ) Ενσωμάτωση των ήπιων μορφών ενέργειας (ηλιακή ενέργεια) στη διαδικασία επίλυσης ενός σοβαρού περιβαλλοντικού προβλήματος. Επιπλέον μείωση της κατανάλωσης ενέργειας, μέσω της χρησιμοποίησης της ηλιακής ενέργειας.

(ε) Μείωση της χρήσης χημικών προσθέτων για την επεξεργασία και μείωση της λάσπης, λόγω της δυνατότητας ανακύκλωσης και επαναχρησιμοποίησης του καταλύτη.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. W. Eckenfelder, A. Bowers, J. Roth (1994) "Chemical Oxidation, Technologies for the Nineties"**,** Vol. 1-4, Technomic Publishing Co., Basel.
2. Legrini, O., E. Oliveros and A. Braun (1993) "Photochemical Processes for Water Treatment", *Chem. Rev.* **93**, 671.
3. Meyer, M., E. Thurman,(1996) "Herbicide Metabolites in Surface Water and Ground Water"*,ACS Symposium Series 630*, American Chemical Society, Washington, USA.
4. Albanis, T.D. Hela (1998) "Pesticide Concentrations in Louros River and Their Fluxes into the Marine Environment", *Intern. J. Environ. Anal. Chem.* **70**, 105.
5. Memming, R., (1988) "Photoelectrochemical Solar Energy Conversion", *Topics in Current Chemistry* **143**, 79.
6. Serpone, N. and E. Pelizzetti (eds.) (1989) "Photocatalysis, Fundamentals and Applications", J. Wiley & Sons, N.Y.,
7. Poulios, I., M. Kositzi, A. Fouras (1998) "Photocatalytic Decomposition of Triclopyr over Aqueous Suspensions of TiO_2", *J. Photochem. Photobiol. A:* **115**, 175.
8. Blanco, J., S. Malato, et.al. (1999) "Techno-economical assessment of Solar Detoxification Systems with Compound Parabolic Collectors" *J. Phys. IV France* **9**, 259.
9. Y. Tripanagnostopoulos and P. Yianoulis. "CPC solar collectors with multichannel absorber". Solar Energy 58, 49-61 (1996).
10. Y.Tripanagnostopoulos, P.Yianoulis, S.Papaefthimiou, M. Souliotis and Th. Nousia. "Cost effective asymmetric CPC solar collectors''. Renewable Energy 16, 628-631 (1999).
11. Y. Tripanagnostopoulos, M. Souliotis and Th. Nousia. "Solar collectors with colored absorbers". Solar Energy 68, 343-356 (2000).
12. Y.Tripanagnostopoulos, P. Yianoulis, S. Papaefthimiou and S. Zafeiratos. "CPC solar collectors with flat bifacial absorbers". Solar Energy 69, 191-203 (2000).
13. Y.Tripanagnostopoulos, M. Souliotis and Th. Nousia. "CPC type integrated collector storage systems". Solar Energy 72, 327-350 (2002).

(214)

ΕΠΙΘΕΩΡΗΣΗ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΦΥΤΟΦΑΡΜΑΚΩΝ - ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΑΠΟ ΤΗ ΘΕΜΑΤΙΚΗ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΗ ΤΗΣ Ε.Ε.

Α. Παπαγιαννοπούλου, Γ. Παρισόπουλος, Χ. Σακκάς
Εθνικό Ίδρυμα Αγροτικής Έρευνας/Ινστιτούτο Γεωργικών Μηχανών & Κατασκευών, Δημοκρατίας 61, 135 61 Άγιοι Ανάργυροι
Τηλ.: 2102611011-2, Fax: 2102619202, e-mail: iamc@ath.forthnet.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται οι απαιτήσεις ελέγχου των μηχανημάτων εφαρμογής φυτοπροστατευτικών προϊόντων όπως προκύπτουν από το σχέδιο της Οδηγίας πλαίσιο για την επίτευξη της αειφόρου χρήσης των φυτοφαρμάκων (άρθρο 8). Παράλληλα, παρατίθενται στοιχεία για το καθεστώς ελέγχων των εν λόγω μηχανημάτων στην Ε.Ε. και πρόταση για την πλήρη εφαρμογή του ως άνω άρθρου. Τέλος παρουσιάζονται δράσεις για τη βελτίωση της υφιστάμενης κατάστασης στη χώρα μας.

INSPECTION OF PESTICIDE APPLICATION EQUIPMENT – MEASURES PROPOSED BY THE THEMATIC STRATEGY OF E.C.

A. Papayiannopoulou, G. Parissopoulos, Ch. Sakkas
National Agricultural Research Foundation, Institute of Agricultural Machinery and Constructions, 61 Democratias str., 135 61 Aghii Anargiri Attikis, Greece
Tel.: (+30) 2102611011-2, Fax: (+30) 2102619202, e-mail: iamc@ath.forthnet.gr

ABSTRACT

In the present study the requirements for inspection of sprayers in use as they arise from a new Directive (Article 8) that aims to the sustainable use of pesticides, are presented. Furthermore, are quoted the inspection status in E.U. countries, as well as a proposal for the total application of the above article. Finally, there are presented actions for the improvement of the current situation in Greece.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα φυτοφάρμακα είναι δραστικές ουσίες σχεδιασμένες να καταπολεμούν επιβλαβείς οργανισμούς και δύναται να έχουν ανεπιθύμητες επιδράσεις σε οργανισμούς μη στόχους, στην υγεία του ανθρώπου και το περιβάλλον. Λόγω της σκόπιμης απελευθέρωσής τους στη φύση, υπόκεινται σε κανονιστικές κοινοτικές ρυθμίσεις, η αποτελεσματικότητα των οποίων είναι ανεπαρκής, με συνέπεια να ανευρίσκονται φυτοφάρμακα σε στοιχεία του περιβάλλοντος και να ανιχνεύονται υπολείμματα σε γεωργικά προϊόντα σε επίπεδα υψηλότερα των επιτρεπτών ορίων. Η Ε.Ε. προκειμένου να μειώσει περαιτέρω τις ποσότητες των φυτοφαρμάκων, ιδιαίτερα αυτές των φυτοπροστατευτικών προϊόντων, απεφάσισε την πλήρη εφαρμογή και κατάλληλη αναθεώρηση του υφισταμένου νομικού πλαισίου και την κατάστρωση θεματικής στρατηγικής για την αειφόρο χρήση αυτών [1].

Οι ειδικοί στόχοι της θεματικής στρατηγικής είναι οι εξής:

– μείωση των παντοειδών κινδύνων που συνεπάγεται η χρήση φυτοφαρμάκων για την υγεία και το περιβάλλον·

– βελτιωμένοι έλεγχοι της χρήσης και διανομής φυτοφαρμάκων·

– μείωση των επιπέδων βλαβερών δραστικών ουσιών, μεταξύ άλλων με την αντικατάσταση των πιο επικίνδυνων από ασφαλέστερες εναλλακτικές λύσεις, ενδεχομένως μη χημικές·

– ενθάρρυνση της χρησιμοποίησης καλλιεργειών με περιορισμένες εισροές ή χωρίς φυτοφάρμακα, μεταξύ άλλων με καλύτερη ενημέρωση των χρηστών, με την προαγωγή της χρήσης κωδίκων ορθής πρακτικής, και με την εξέταση της ενδεχόμενης χρήσης χρηματοοικονομικών μέσων·

– διαφανές σύστημα αναφοράς και παρακολούθησης της προόδου προς την εκπλήρωση των στόχων της στρατηγικής, όπου συμπεριλαμβάνεται και η ανάπτυξη κατάλληλων δεικτών,

και είτε θα ενσωματωθούν σε υπάρχοντα νομικά μέσα και υφιστάμενες πολιτικές, είτε θα περιληφθούν σε νέα νομοθεσία [2].

Η υλοποίηση των παραπάνω στόχων θα επιτευχθεί μέσω της αναθεώρησης της Οδηγίας 91/414/ΕΕC [3], της ψήφισης Οδηγίας πλαίσιο για την αειφόρο χρήση των φυτοφαρμάκων, της υιοθέτησης Κανονισμού για τη συλλογή στοιχείων για τις πωλήσεις και τη χρήση των προϊόντων φυτοπροστασίας και της τροποποίησης της Οδηγίας 2006/42/ΕC για τις μηχανές, η οποία καλύπτει τον καινούριο εξοπλισμό εφαρμογής φυτοπροστατευτικών προϊόντων [4].

Ειδικότερα, το Σχέδιο της Οδηγίας πλαίσιο περιλαμβάνει μέτρα όπως:

– Θέσπιση εθνικών σχεδίων δράσης για τον καθορισμό στόχων, μέτρων και χρονοδιαγραμμάτων για τη μείωση των κινδύνων και της εξάρτησης από τα φυτοφάρμακα (άρθρο 4)·

– Συγκρότηση συστημάτων κατάρτισης για τους διανομείς και τους επαγγελματίες χρήστες φυτοφαρμάκων, ώστε να εξασφαλιστεί ότι έχουν πλήρη επίγνωση των σχετικών κινδύνων (άρθρο 5)·

– Καταλληλότητα προσωπικού διανομής τοξικών ή πολύ τοξικών φυτοφαρμάκων ώστε να παρέχεται υπεύθυνη πληροφόρηση στους πελάτες και χορήγηση ειδικής έγκρισης σε φυτοφάρμακα για μη επαγγελματίες χρήστες (άρθρο 6)·

– Ενημέρωση και ευαισθητοποίηση του κοινού σχετικά με τους κινδύνους και τα οφέλη των φυτοφαρμάκων για τον άνθρωπο και το περιβάλλον (άρθρο 7)·

– Τακτική επιθεώρηση του εν χρήσει εξοπλισμού και των εξαρτημάτων εφαρμογής φυτοφαρμάκων από επαγγελματίες χρήστες. Ο όρος «επαγγελματίας χρήστης» περιλαμβάνει όλους τους αγρότες, οι οποίοι χρησιμοποιούν φυτοφάρμακα κατά την επαγγελματική τους δραστηριότητα για εμπορική χρήση (άρθρο 8)·

– Απαγόρευση αεροψεκασμών (άρθρο 9)·
– Προστασία υδάτινου περιβάλλοντος (άρθρο 10)·
– Μείωση χρήσης φυτοφαρμάκων σε ευπαθείς περιοχές (άρθρο 11)·
– Αντιμετώπιση εκπομπών από χειρισμό/αποθήκευση φυτοφαρμάκων (άρθρο 12)·
– Εφαρμογή ολοκληρωμένης διαχείρισης επιβλαβών οργανισμών (άρθρο 13)·
– Λήψη στοιχείων διάθεσης και χρήσης φυτοπροστατευτικών προϊόντων για τον υπολογισμό καταλλήλων δεικτών κινδύνου (άρθρο 14).

2. ΕΛΕΓΧΟΙ ΤΟΥ ΕΝ ΧΡΗΣΕΙ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ

2.1 Απαιτήσεις σχεδίου οδηγίας

Σύμφωνα με το άρθρο 8 του σχεδίου της οδηγίας απαιτείται η επιθεώρηση του χρησιμοποιούμενου εξοπλισμού για επαγγελματική χρήση, που μεταφράζεται ότι όλα τα εν χρήσει ψεκαστικά μηχανήματα που χρησιμοποιούνται για εμπορικούς σκοπούς πρέπει να ελεγχθούν ως προς την ικανοποίηση απαιτήσεων υγείας, ασφαλείας και προστασίας περιβάλλοντος (Παράρτημα ΙΙ). Οι έλεγχοι είναι περιοδικοί και εντός πενταετίας από την ημερομηνία εναρμόνισης πρέπει να ελεγχθεί τουλάχιστον μία φορά το σύνολο του χρησιμοποιούμενου εξοπλισμού και των εξαρτημάτων εφαρμογής.

Οι απαιτήσεις υγείας, ασφαλείας και προστασίας περιβάλλοντος που πρέπει να πληρούνται κατά τον έλεγχο του εξοπλισμού εφαρμογής είναι:

1. Εξαρτήματα μετάδοσης ισχύος: Πρέπει να υπάρχουν προφυλακτήρες προ των κινουμένων μερών μετάδοσης ισχύος (δυναμοδοτικός άξονας, λήψη ισχύος) και να βρίσκονται σε καλή κατάσταση. Δεν πρέπει να επηρεάζεται η λειτουργία των προστατευτικών μηχανισμών και των τυχόν κινούμενων ή περιστρεφόμενων στοιχείων του συστήματος μετάδοσης κίνησης·

2. Αντλία: Η δυναμικότητα της αντλίας πρέπει να είναι προσαρμοσμένη στις ανάγκες του εξοπλισμού, η δε αντλία πρέπει να λειτουργεί σωστά, ώστε να εξασφαλίζει σταθερή και αξιόπιστη παροχή εφαρμογής. Δεν πρέπει να υπάρχουν διαρροές·

3. Ανάδευση: Οι αναδευτήρες πρέπει να εξασφαλίζουν την πρέπουσα ανακυκλοφορία, ώστε να επιτυγχάνεται ομοιόμορφη συγκέντρωση σε ολόκληρο τον όγκο του υγρού ψεκαστικού διαλύματος που περιέχεται στη δεξαμενή·

4. Δεξαμενή ψεκαστικού υγρού: Η δεξαμενή, καθώς και ο δείκτης περιεχομένου, τα συστήματα πλήρωσης, τα πλέγματα και φίλτρα, τα συστήματα εκκένωσης και τα συστήματα ανάμιξης πρέπει να λειτουργούν με τρόπο που να ελαχιστοποιεί την τυχαία διαφυγή, την ανομοιογενή κατανομή της συγκέντρωσης, την έκθεση του χειριστή και το συνολικά παραμένοντα όγκο·

5. Συστήματα μετρήσεων, ελέγχου και ρυθμίσεων: Όλα τα συστήματα μέτρησης, εκκίνησης και διακοπής και ρύθμισης της πίεσης ή/και της ταχύτητας ροής πρέπει να λειτουργούν με αξιοπιστία και χωρίς διαρροές. Ο έλεγχος της πίεσης και ο χειρισμός των συστημάτων ρύθμισης αυτής πρέπει να γίνονται με ευχέρεια. Τα συστήματα ρύθμισης της πίεσης πρέπει να διατηρούν σταθερή ενεργό πίεση σε συγκεκριμένο αριθμό περιστροφών της αντλίας, ώστε να εξασφαλίζεται ομοιόμορφη παροχή·

6. Σωληνώσεις και εύκαμπτοι σωλήνες: Οι σωληνώσεις και οι εύκαμπτοι σωλήνες πρέπει να βρίσκονται σε καλή κατάσταση, ώστε να αποτρέπεται η διατάραξη της ροής του υγρού ή η τυχαία διαφυγή σε περίπτωση αστοχίας. Δεν πρέπει να υπάρχουν διαρροές όταν οι σωληνώσεις και οι εύκαμπτοι σωλήνες λειτουργούν υπό τη μέγιστη πίεση που μπορεί να επιτευχθεί στο σύστημα.

7. Φίλτρα: Τα φίλτρα πρέπει να βρίσκονται σε καλή κατάσταση για να επιτυγχάνεται ομαλή ροή, το δε μέγεθος του πλέγματός τους πρέπει να αντιστοιχεί στο μέγεθος των ακροφυσίων που φέρει ο ψεκαστήρας. Το σύστημα ένδειξης απόφραξης φίλτρου πρέπει να λειτουργεί σωστά.

8. Βραχίονες ψεκασμού (αφορά σε εξοπλισμό που ψεκάζει φυτοφάρμακα με τη βοήθεια βραχίονα τοποθετημένου σε οριζόντια θέση, σε μικρή απόσταση από την καλλιέργεια ή το υλικό που πρόκειται να υποβληθεί σε αγωγή): Η ράμπα ψεκασμού πρέπει να βρίσκεται σε καλή κατάσταση και να έχει σταθερότητα προς όλες τις κατευθύνσεις. Τα συστήματα στερέωσης και ρύθμισης, καθώς και οι μηχανισμοί απόσβεσης των κραδασμών και αντιστάθμισης των κλίσεων του εδάφους πρέπει να λειτουργούν με αξιοπιστία.

9. Ακροφύσια: Τα ακροφύσια πρέπει να λειτουργούν σωστά, ώστε να ελέγχεται η στάλαξη όταν διακόπτεται ο ψεκασμός. Για να εξασφαλίζεται ομοιογενής ψεκασμός, η παροχή κάθε επιμέρους ακροφυσίου δεν πρέπει να αποκλίνει περισσότερο από 5 % από την αναγραφόμενη στους πίνακες του κατασκευαστή.

10.Κατανομή: Η εγκάρσια και η κατακόρυφη (στις περιπτώσεις εφαρμογής σε κατακόρυφες καλλιέργειες) κατανομή του ψεκαστικού υγρού, καθώς και η κατανομή κατά τη διεύθυνση της κίνησης πρέπει να είναι ομοιόμορφες. Πρέπει να εξασφαλίζεται η κατάλληλη ποσότητα και κατανομή ψεκαστικού υγρού στην έκταση στόχο.

11.Ανεμιστήρας (αφορά σε εξοπλισμό που κατανέμει φυτοφάρμακα με τη βοήθεια ρεύματος αέρα): Ο ανεμιστήρας πρέπει να βρίσκεται σε καλή κατάσταση και να εξασφαλίζει σταθερό ρεύμα αέρα.

Σύγκριση των ανωτέρω απαιτήσεων με τους όρους του προτύπου ΕΝ 13790, μέρη 1 και 2 [5] όπως αυτό εκτενώς έχει αναλυθεί [6] μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι ο εξοπλισμός που θα ελεγχθεί αρχικά αφορά στους ψεκαστήρες μεγάλων καλλιεργειών και στους νεφελοψεκαστήρες. Είναι προτιμότερο ο έλεγχος να διεξάγεται σύμφωνα με το προαναφερόμενο πρότυπο το οποίο είναι πιο λεπτομερές και επεξηγηματικό του Παραρτήματος ΙΙ.

Για την πλήρωση των ανωτέρω απαιτήσεων ελέγχονται τα ακόλουθα μέρη/συστήματα του μηχανήματος:
- Σύστημα μετάδοσης κίνησης
- Υδραυλικό σύστημα (αντλία, σωληνώσεις, ακροφύσια)
- Σύστημα ανάδευσης
- Δεξαμενή ψεκαστικού υγρού
- Συστήματα ελέγχου και ρυθμίσεων
- Φίλτρα
- Βραχίονες ψεκασμού

2.2 Υφιστάμενη κατάσταση στις χώρες της Ε.Ε.

Η υφιστάμενη κατάσταση ελέγχων των μηχανημάτων εφαρμογής φυτοπροστατευτικών προϊόντων (ψεκαστήρες μεγάλων καλλιεργειών και νεφελοψεκαστήρες) στις χώρες της Ε.Ε. φαίνεται στον Πίνακα 1 [7]. Για Κροατία, Λουξεμβούργο, Φινλανδία δεν υπάρχουν στοιχεία.

Όπως προκύπτει από τον πίνακα 1 η χώρα μας διαθέτει τον τρίτο υψηλότερο δείκτη μηχανημάτων ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο στην Ε.Ε. και δεν διενεργεί ελέγχους του εν χρήσει εξοπλισμού εφαρμογής φυτοπροστατευτικών προϊόντων. Το γεγονός αυτό αναμένεται να επηρεάσει αρνητικά τη συχνότητα επανελέγχου η οποία ορίζεται από το σχέδιο της Οδηγίας το πολύ στα 5 έτη.

Πίνακας 1. Καθεστώς ελέγχων εξοπλισμού εφαρμογής φυτοπροστευτικών προϊόντων στις χώρες της Ε.Ε.

Χώρες	Αριθμός ψεκαστικών μηχανημάτων	Αριθμός ψεκαστικών μηχανημάτων ανά km^2	Καθεστώς ελέγχων ψεκαστικών	
			Εν χρήσει	Καινούρια
Αυστρία	58.600	0,70	Προαιρετικοί (1983)	Όχι
Βέλγιο	21.218	0,69	Προαιρετικοί (1989) Υποχρεωτικοί (1995)	Ναι
Βουλγαρία	4.784	0,04	Δεν γίνονται έλεγχοι Υποχρεωτικοί (2010)	-
Γαλλία	350.000	0,64	Προαιρετικοί (1990) Υποχρεωτικοί (2009)	-
Γερμανία	181.000	0,51	Προαιρετικοί (1976) Υποχρεωτικοί (1993/2002)(1)	Ναι
Δανία	30.000	0,70	Υποχρεωτικοί (1993)	Όχι
Ελβετία	25.238	0,37	Υποχρεωτικοί (1993)	Όχι
Ελλάδα	152.094	1,15	Δεν γίνονται έλεγχοι	Ναι
Εσθονία	-	-	Υποχρεωτικοί (2000)	-
Ιρλανδία	12.100	0,17	Δεν γίνονται έλεγχοι Υποχρεωτικοί στο μέλλον	-
Ισπανία	210.000	0,42	Προαιρετικοί (1990) Υποχρεωτικοί (2010)	Όχι
Ιταλία	550.000	1,83	Προαιρετικοί (1988-2006) Υποχρεωτικοί (1999-2001)	Ναι
Λετονία	2.320	0,04	Προαιρετικοί Υποχρεωτικοί στο μέλλον	-
Λιθουανία	15.150	0,23	Υποχρεωτικοί (2001)	Ναι
Μ. Βρετανία	46.000	0,19	Προαιρετικοί (1997)	Ναι
Νορβηγία	16.900	0,05	Υποχρεωτικοί (2006)	Ναι
Ολλανδία	15.000	0,37	Προαιρετικοί (1976) Υποχρεωτικοί (1997/2002) (1)	Ναι
Ουγγαρία	40.000	0,43	Υποχρεωτικοί (2007)	Όχι
Πολωνία	323.101	1,03	Υποχρεωτικοί (1999)	Ναι
Πορτογαλία	56.000	0,61	Υποχρεωτικοί (2007/2006) (1)	Όχι
Ρουμανία	20.472	0,09	Δεν γίνονται έλεγχοι	-
Σερβία	20.800	0,20	Πειραματικό στάδιο (2006) Υποχρεωτικοί (2007)	Ναι
Σλοβακία	4.450	0,09	Υποχρεωτικοί (2003)	Όχι
Σλοβενία	28.000	1,38	Υποχρεωτικοί (1995)	Όχι
Σουηδία	19.500	0,04	Προαιρετικοί (1987/1995) (1)	Όχι
Τσεχία	6.000	0,07	Προαιρετικοί (1980) Υποχρεωτικοί (1997)	Όχι
	2.208.727			

(1) Το πρώτο έτος είναι το έτος θέσπισης του καθεστώτος ελέγχου των ψεκαστήρων μεγάλων καλλιεργειών ενώ το δεύτερο εκείνο των νεφελοψεκαστήρων

2.3 Συσχετισμός απαιτήσεων μεταξύ καινούριων και εν χρήσει ψεκαστικών μηχανημάτων

Ο έλεγχος των καινούριων ψεκαστικών μηχανημάτων διενεργείται με βάση τα ευρωπαϊκά πρότυπα ΕΝ 907 [8], ΕΝ 12761 [9], και τις Τεχνικές Οδηγίες της ΕΝΤΑΜ [10], τα οποία τυγχάνουν προαιρετικής εφαρμογής.

Η Ε.Ε. προσανατολίζεται στην επιβολή υποχρεωτικών ελέγχων και στα καινούρια ψεκαστικά μηχανήματα κυρίως με τροποποίηση της Οδηγίας 42/2006/ΕΚ το 2008. Το σκεπτικό για τον υποχρεωτικό έλεγχο των καινούριων ψεκαστικών μηχανημάτων βασίζεται στην ισχυρή πιθανότητα ότι ένα μηχάνημα που δεν καλύπτει τις απαιτήσεις του προτύπου ΕΝ 12761 ως καινούριο δεν θα καλύπτει και τις απαιτήσεις υγείας, ασφάλειας και προστασίας περιβάλλοντος του σχεδίου της Οδηγίας ή τις απαιτήσεις του προτύπου ΕΝ 13790 ως μεταχειρισμένο.

Η επιβολή υποχρεωτικών ελέγχων και στα καινούργια ψεκαστικά μηχανήματα θα δικαιώσει την προσπάθεια ευρωπαϊκών κρατών όπως το Βέλγιο, η Γερμανία και η Ολλανδία να επιβάλλουν κατά το παρελθόν πρωτόκολλα υποχρεωτικών ελέγχων που δεν έγιναν αποδεκτά από την Ε.Ε. με το σκεπτικό ότι αντίκεινται στην αρχή της ελεύθερης διακίνησης των αγαθών εντός των κρατών-μελών [11].

2.4 Υποδομές

Στην Ελλάδα ο έλεγχος των καινούριων ψεκαστικών μηχανημάτων είναι προαιρετικός και η μοναδική υποδομή όπου διενεργούνται έλεγχοι βάσει των προαναφερόμενων προτύπων και τεχνικών οδηγιών είναι το υπό ενίσχυση μέσω του Ε.Π.ΑΝ. μόνιμο εργαστήριο ψεκαστικών μηχανημάτων του ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε./Ι.ΓΕ.Μ.Κ.

Για τους ελέγχους των ψεκαστικών εν χρήσει ακολουθούνται στην Ε.Ε. δύο προσεγγίσεις:

i) Οι έλεγχοι γίνονται στον τόπο των χρηστών (αγροτών) με κινητά συνεργεία δημόσια ή ιδιωτικά,

ii) Οι έλεγχοι γίνονται σε καθορισμένα ιδιωτικά συνεργεία, όπου ο αγρότης προσκομίζει το μηχάνημά του.

Όπου χρησιμοποιούνται ιδιωτικά συνεργεία αυτά είναι επιτηρούμενα από το αντίστοιχο Υπουργείο ή άλλο εξουσιοδοτημένο από το Υπουργείο οργανισμό.

Η χώρα μας η οποία δεν διενεργεί ελέγχους των εν χρήσει ψεκαστικών μηχανημάτων καλείται να δημιουργήσει τις απαραίτητες υποδομές για πιλοτική εφαρμογή υποχρεωτικών περιοδικών ελέγχων υιοθετώντας μια εκ των ανωτέρω προσεγγίσεων ή κάποιο μεικτό σύστημα λαμβάνοντας υπόψη και τον ιδιαίτερα υψηλό δείκτη μηχανημάτων της χώρας (αριθμός /km^2). Σκόπιμο είναι οι εν λόγω υποδομές να δημιουργηθούν πριν την εναρμόνιση της Οδηγίας ώστε να υπάρχει απαραίτητη εμπειρία για εφαρμογή διορθωτικών και προληπτικών ενεργειών προς όφελος των αγροτών και της εθνικής οικονομίας.

2.5 Προγράμματα κατάρτισης για τον εξοπλισμό εφαρμογής

Από το σχέδιο Οδηγίας προβλέπεται η κατάρτιση προγραμμάτων για την απόκτηση και την επικαιροποίηση των γνώσεων των χρηστών, διανομέων και συμβούλων, ανάλογα με την περίπτωση. Τα εθνικά μαθήματα κατάρτισης μπορούν να είναι ποικίλου περιεχομένου και να διαφοροποιούνται ανάλογα με τις ανάγκες των ατόμων στα οποία απευθύνονται.

Τα θέματα που πρέπει να περιλαμβάνονται στα προγράμματα κατάρτισης σχετικά με τον εξοπλισμό θα αφορούν κυρίως στις διαδικασίες προετοιμασίας για χρήση συμπεριλαμβανομένης της βαθμονόμησης, τη συντήρηση, τα μέτρα ατομικής προστασίας, τις ειδικές τεχνικές ψεκασμού και τις ορθές πρακτικές για την προστασία του περιβάλλοντος [12].

2.6 Πρόταση για την πλήρη εφαρμογή του άρθρου 8 του σχεδίου Οδηγίας

Το ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε./Ι.ΓΕ.Μ.Κ. διαθέτει στο συγκεκριμένο θέμα τεχνογνωσία και έχει διαμορφωμένη πρόταση για τον τρόπο επιθεώρησης του εν χρήσει εξοπλισμού εφαρμογής φυτοπροστατευτικών προϊόντων η οποία είναι στη διάθεσή του Υ.Α.Α.Τ. Η πρόταση καλύπτει επίσης και ενδεχόμενη τροποποίηση της Οδηγίας 42/2006/ΕΚ για τον έλεγχο του καινούργιου εξοπλισμού.

Περιλαμβάνονται σε γενικές γραμμές τα παρακάτω:

Α) Καινούρια ψεκαστικά μηχανήματα

1) Υποχρεωτικός έλεγχος σύμφωνα με τα πρότυπα ΕΝ 907, ΕΝ 12761 και τις Τεχνικές Οδηγίες της ΕΝΤΑΜ για έκδοση έγκρισης τύπου (ένα μηχάνημα ανά κατηγορία και τύπο).

2) Υποχρεωτικός έλεγχος σύμφωνα με το πρότυπο ΕΝ 13790 πριν τη διάθεση στον πελάτη (όλα τα μηχανήματα). Επίθεση σήματος ελέγχου επί του μηχανήματος.

3) Απογραφή από τις κατά τόπους Νομαρχίες των μηχανημάτων που πωλούνται, εγχώριων ή εισαγόμενων και χορήγηση πινακίδας (όμοια διαδικασία με αυτή των ελκυστήρων).

4) Επανέλεγχος των μηχανημάτων μετά από 5 χρόνια σύμφωνα με το πρότυπο ΕΝ 13790 μετά από πρόσκληση από το Υ.Α.Α.Τ. ή τον φορέα διενέργειας περιοδικών ελέγχων.

Β) Εν χρήσει ψεκαστικά μηχανήματα

1) Απογραφή μέσω των νομαρχιών όλων των εν χρήσει ψεκαστικών μηχανημάτων.

2) Δημιουργία κινητών συνεργείων (ένα ή δύο καταρχάς) για έλεγχο των εν χρήσει ψεκαστικών μηχανημάτων σε επιλεγμένους νομούς ή περιφέρειες σύμφωνα με το πρότυπο ΕΝ 13790.

3) Εκτίμηση των αποτελεσμάτων των ελέγχων ώστε να διαπιστωθεί αν είναι προτιμότερη η επισκευή του μηχανήματος ή η αντικατάστασή του με ένα καινούριο. Ανάληψη πρωτοβουλιών από το Υ.Α.Α.Τ.

4) Χορήγηση πινακίδας όταν το μηχάνημα περάσει επιτυχώς για πρώτη φορά τον έλεγχο και επίθεση σήματος ελέγχου.

5) Επανέλεγχος των μηχανημάτων μετά από 5 χρόνια σύμφωνα με το πρότυπο ΕΝ 13790 μετά από πρόσκληση από το Υ.Α.Α.Τ. ή τον φορέα διενέργειας περιοδικών ελέγχων.

3. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Από τα προαναφερθέντα προκύπτει ότι:

1. Η πλειοψηφία των ευρωπαϊκών χωρών πραγματοποιεί επί υποχρεωτικής ή προαιρετικής βάσης δοκιμές στα μηχανήματα εφαρμογής φυτοπροστατευτικών προϊόντων, ανάλογα με το υφιστάμενο θεσμικό πλαίσιο.

2. Ο υποχρεωτικός έλεγχος των εν λόγω μηχανημάτων, όπου εφαρμόζεται, συμβάλλει στη βελτίωση της ποιότητάς τους, στην προστασία του περιβάλλοντος και στην ασφάλεια και υγιεινή των χρηστών.

3. Η μεταφορά της Οδηγίας στο εθνικό δίκαιο χωρίς προηγούμενη εμπειρία στον έλεγχο εν χρήσει ψεκαστικών μηχανημάτων θα επιμηκύνει την περίοδο προσαρμογής.

4. Καθίσταται αναγκαία η λήψη ειδικών μέτρων για τη βελτίωση της υφιστάμενης κατάστασης στη χώρα μας λαμβάνοντας υπόψη τον υψηλό δείκτη μηχανημάτων ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο. Πρωτοβουλίες προς την κατεύθυνση αυτή θα μπορούσαν να είναι:

α. Η καθιέρωση του υποχρεωτικού των δοκιμών βάσει των Ευρωπαϊκών προτύπων προ της ψήφισης του σχεδίου οδηγίας, ώστε η χώρα να είναι προετοιμασμένη για την εφαρμογή της.

β. Η ενίσχυση των υφισταμένων εργαστηριακών υποδομών, ώστε να ανταποκριθούν στον όγκο και την απαιτούμενη ποιότητα των δοκιμών.

γ. Η συστηματική ενημέρωση των παραγωγών, όσον αφορά στην επικείμενη περιοδική αξιολόγηση των μηχανημάτων για την ελαχιστοποίηση των επιπτώσεων στην ασφάλεια, υγιεινή και το περιβάλλον.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. SEC(2006) 894, 2006. Πρόταση για Οδηγία του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου για τον καθορισμό πλαισίου κοινοτικής δράσης με σκοπό την επίτευξη αειφόρου χρήσης των φυτοφαρμάκων. Βρυξέλλες.
2. European Commission, DG Environment, Unit B.3, 2007. Thematic Strategy on the Sustainable use of Pesticides. Proceedings of 2nd European Workshop on Standardized Procedure for the Inspection of Sprayers in Europe-SPISE. Straelen, April 10-12, 2007.
3. Οδηγία 91/414/ΕΟΚ του Ευρωπαϊκού Συμβουλίου της 15ης Ιουλίου 1991 σχετικά με τη διάθεση στην αγορά φυτοπροστατευτικών προϊόντων. Βρυξέλλες.
4. Οδηγία 2006/42/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 17ης Μαΐου 2006 σχετικά με τα μηχανήματα και την τροποποίηση της οδηγίας 95/16/ΕΚ (αναδιατύπωση). Βρυξέλλες.
5. CEN. 2003. EN 13790 "Agricultural machinery-Sprayers-Inspection of sprayers in use - Part 1: Field crop sprayers. Part 2: Air-assisted sprayers for bush and tree crops". Βρυξέλλες.
6. Χ. Σακκάς, Α. Παπαγιαννοπούλου, Γ. Παρισόπουλος, 2005. Έλεγχοι μηχανημάτων φυτοπροστασίας στις ευρωπαϊκές χώρες – Προδιαγραφές & νομικό πλαίσιο. 4ο Πανελλήνιο Συνέδριο Γεωργικής Μηχανικής, Αθήνα.
7. Hans-Joachim Wehmann, 2007. Actual survey about inspection of sprayers in the countries of Europe. Proceedings of 2nd European Workshop on Standardized Procedure for the Inspection of Sprayers in Europe-SPISE. Straelen, April 10-12, 2007.
8. CEN. 1997. EN 907 "Agricultural and forestry machinery-Sprayers and liquid fertilizer distributors-Safety". Βρυξέλλες
9. CEN. 2001. EN 12761 "Agricultural and forestry machinery-Sprayers and liquid fertilizer distributors-Environmental protection-Part 1: General, Part 2: Field crop sprayers, Part 3: Air-assisted sprayers for bush and tree crops". Βρυξέλλες
10. European Network for Testing of Agricultural Machines (ENTAM). 2005. Technical Instructions for ENTAM-Tests of air assisted, field crop and knapsack sprayers. www.entam.com.
11. B. Huyghebaert, O. Mostade, P. Braekman. 2007. Belgium's procedure dealing with brand new and very old sprayers. Proceedings of 2nd European Workshop on Standardized Procedure for the Inspection of Sprayers in Europe-SPISE. Straelen, April 10-12, 2007.
12. Α. Παπαγιαννοπούλου, Χ. Σακκάς, Γ. Παρισόπουλος. 2005. Έλεγχοι ψεκαστικών μηχανημάτων. Περιοδικό ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε., τεύχος Νο 22, σελ. 13-21. Αθήνα, 2005.

(232)

ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΔΙΑΦΡΑΓΜΑΤΩΝ ΟΠΗΣ ΣΕ ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΧΛΩΡΙΩΣΗΣ ΑΣΤΙΚΩΝ ΛΥΜΑΤΩΝ

Δ. Φείδαρος[1α], Α. Μπαξεβάνου[1β], Α. Ζαγορίτης[2α], Π.-Ε. Μπίσκα[2β]
[1]Ενεργειακοί Σύμβουλοι Μηχανικοί - Eco-Energy, Παπασταύρου 2-4, 41222, Λάρισα,
[α]jimfeid@otenet.gr, [β]cbaxe@eco-energy.gr
[2]Διπλ. Χημικοί Μηχανικοί ΜΔΕ, [α]azagorit@yahoo.gr [β]pmpiska@yahoo.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία μελετάται με μεθόδους υπολογιστικής ρευστοδυναμικής η απόδοση τυπικής δεξαμενής χλωρίωσης αστικών λυμάτων με και χωρίς διαφράγματα οπής με βασικό κριτήριο τον βαθμό απολύμανσης τους στην έξοδο της. Συγκεκριμένα, προσομοιώνεται η 3Δ τυρβώδης ροή και η απολυμαντική δράση του χλωρίου στο μικροβιακό φορτίο σε μια τεταρτοβάθμια δεξαμενή χλωρίωσης ελεύθερης διέλευσης και σε μια αντίστοιχη κατά την οποία η διέλευση εμποδίζεται από διαφράγματα οπής. Επιλύονται οι εξισώσεις Navier-Stokes μέσης χρονικής στιγμής, με το μοντέλο k-ε Low-Re δύο εξισώσεων, λαμβάνοντας υπόψη και την υδροστατική φύση της ροής. Επιπλέον επιλύονται άλλες 2 εξισώσεις για την απομείωση του χλωρίου και των μικροοργανισμών με τους κατάλληλους όρος πηγής.

NUMERICAL STUDY OF BAFFLES INFLUENCE IN A WASTEWATER CHLORINE CONTACT TANK

D. Fidaros[1a], C. Baxevanou[1b], A. Zagoritis[2a], P.-E. Mpiska[2b]
[1]Energy Consultants Engineers - Eco-Energy, Patastavrou 2-4, 41222, Larisa,
[a]jimfeid@otenet.gr, [b]cbaxe@eco-energy.gr
[2]Dipl. Chemical Engineers MSc, [a]azagorit@yahoo.gr [b]pmpiska@yahoo.gr

ABSTRACT

In the present paper is studied the performance of a typical wastewater contact chlorination tank with and without baffles under the criterion of the bacterial load disinfection by CFD methods. In particular, simulations of 3D turbulent flows are performed taking account the disinfection action of the chlorine and the bacterial decay in a free passing tank of 4th stage processing and in a tank with baffles installed at the start of every corridor at it. The Reynolds averaged Navier-Stokes equations with two equations k-ε turbulence model are solved, taking under consideration the hydrostatic nature of the flow. Additionally, two equations are also computed for the chlorine and microorganisms decay using the appropriate sink source terms

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η επεξεργασία αστικών λυμάτων αποτελεί μέρος της προσπάθειας για την αντιμετώπιση του προβλήματος της αυξανόμενης ρύπανσης του περιβάλλοντος. Η επεξεργασία αστικών λυμάτων αποτελείται από μια αλυσίδα διεργασιών με στόχο την αποδέσμευση των καθαρών και ανενεργών υδάτινων πόρων σε λεκάνες απορροής που χωρίς επεξεργασία αποτελούν φορείς λυμάτων. Το κάθε στάδιο περιλαμβάνει φυσικές, χημικές και βιολογικές διεργασίες απομάκρυνσης διαφόρων μικροοργανισμών. Στις φυσικές διεργασίες γίνεται εκμετάλλευση των φυσικών χαρακτηριστικών των λυμάτων, στις χημικές προσθήκη χημικών ουσιών και στις βιολογικές μικροοργανισμών που εξουδετερώνουν οργανικές ουσίες. Τα στάδια διακρίνονται σε τέσσερις βασικές φάσεις διεργασιών, την προεπεξεργασία που έχει ως σκοπό την προστασία του μηχανολογικού εξοπλισμού για τις επόμενες φάσεις επεξεργασίας, την απομείωση των στερεών αποβλήτων και κολλοειδών στερεών με χημική επεξεργασία και καθίζηση (προηγμένη πρωτοβάθμια επεξεργασία), που πολλές φορές αποτελεί και την μοναδική φάση επεξεργασίας του σταδίου αυτού, ενώ σε άλλες περιπτώσεις μπορεί να παραληφθεί. Την δευτεροβάθμια ή βιολογική επεξεργασία, όπου βιοδιασπώνται οι οργανικές ουσίες των λυμάτων με χρήση μικροοργανισμών που στη συνέχεια απομακρύνονται με καθίζηση, και τη τριτοβάθμια επεξεργασία που απομακρύνονται οι εναπομείναντες ρυπαντές, με διήθηση, και άλλες χημικές επεξεργασίες. Πριν την διάθεση των επεξεργασμένων λυμάτων γίνεται η απολύμανση τους, όπου καταστρέφονται οι παθογόνοι μικροοργανισμοί προς αποφυγή μετάδοσης ασθενειών. Σε αυτό το στάδιο επεξεργασίας γίνεται η κύρια καταστροφή των παθογόνων, παρότι μικρές ποσότητες απομακρύνονται και σε προηγούμενα στάδια [1].

Η αριθμητική μοντελοποίηση της ροής και των φαινόμενων μεταφοράς που λαμβάνουν χώρα σε δεξαμενές καθαρισμού, παρέχει την δυνατότητα καλύτερης επιλογής των παραμέτρων σχεδιασμού και των χαρακτηριστικών λειτουργίας. Η μέχρι τώρα υπολογιστική αντιμετώπιση ανάλογων περιπτώσεων γίνονταν διδιάστατα, λαμβάνοντας ένα μέσο ύψος από τον πυθμένα της δεξαμενής και εισάγοντας την υδροστατική δύναμη του ρευστού στο επίπεδο της προσομοίωσης στους όρους πηγής των 2Δ εξισώσεων κίνησης. Συγχρόνως, λόγω της 2Δ γεωμετρίας, η εξέλιξη των συγκεντρώσεων του απολυμαντικού μέσου και του μικροβιακού φορτίου μελετάται μόνο στο ίδιο επίπεδο και όχι και στην τρίτη διάσταση.[2,3]

2. ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

Οι βιβλιογραφικές αναφορές για την εκτίμηση του πεδίου της ροής και της διεργασίας της απολύμανσης σε δεξαμενές επαφής με τη χρήση αριθμητικών μοντέλων είναι περιορισμένες. Οι Hart και Vogiatzis [4] υπολόγισαν το κλάσμα των βακτηρίων που παρέμεινε στη δεξαμενή, με χρήση των συντελεστών διασποράς που προέκυψαν από τις μετρήσεις καμπύλων FTC (χρονική μεταβολή συγκέντρωσης ιχνηθέτη), αλλά δεν επέλυσαν την εξίσωση μεταφοράς για το απολυμαντικό μέσο (διαλυμένη ουσία). Αργότερα, οι Falconer και Liu [5], χρησιμοποιώντας ένα δισδιάστατο χρονικά μεταβαλλόμενο αριθμητικό μοντέλο, προέβλεψαν το πεδίο ταχυτήτων και την κατανομή των συγκεντρώσεων ενός ιχνηθέτη, σε δύο δεξαμενές χλωρίωσης, τονίζοντας ότι η μοντελοποίηση της τύρβης είναι ιδιαίτερα σημαντική για την πρόλεξη του πεδίου ταχυτήτων. Επισημαίνεται επίσης ότι το απλό μοντέλο μήκους ανάμιξης μηδενικής εξίσωσης, που χρησιμοποιήθηκε δεν ήταν επαρκές για να αναπαράγει τα χαρακτηριστικά της ροής στα διάφορα τμήματα της δεξαμενής.

Οι Falconer & Ismail [6] συνέκριναν τα πειραματικά δεδομένα μιας δεξαμενής σπειροειδούς διαμόρφωσης με τα υπολογιστικά αποτελέσματα από την μεταφορά ενός ιχνηθέτη με τη χρήση ενός δισδιάστατου μοντέλου (οι όροι των διατμητικών τάσεων εκφράστηκαν με ένα μοντέλο μέσου–βάθους). Η σύγκριση της προσομοίωσης και των μετρούμενων συγκεντρώσεων σε διάφορα ύψη από τον πυθμένα, έδωσε καλή ταύτιση για τα τελευταία διαμερίσματα της δεξαμενής, όπου η ροή ήταν σχεδόν ομοιόμορφη σε όλο το βάθος. Ωστόσο, η συμφωνία για τα πρώτα διαμερίσματα δεν ήταν καλή, διότι το διδιάστατο μοντέλο περιέγραφε τις οριζόντιες αλλά όχι και τις κατακόρυφες ανακυκλοφορίες, που ήταν έντονες στα διαμερίσματα αυτά, λόγω των φαινομένων εισόδου και των αποκολλήσεων της ροής.

Αργότερα, οι Wang & Falconer [7] ανέπτυξαν ένα αριθμητικό μοντέλο με σκοπό την πρόβλεψη της ροής και της απολύμανσης, που ελάμβαναν χώρα σε μια τυπική δεξαμενή επαφής. Οι όροι των διατμητικών τάσεων αρχικά εκφράστηκαν από ένα μέσου-βάθους μοντέλο ιξώδους δινών και τα αποτελέσματα αναλύθηκαν και συγκρίθηκαν με αυτά που προέκυψαν από τα μοντέλα k–ε και Smagorinsky, με σκοπό την βελτίωση των προβλέψεων. Η διακριτοποίηση των όρων συναγωγής στο αρχικό βασικό μοντέλο έγινε με ένα πρώτης τάξης ανάντη σχήμα διαφόρισης, τα αποτελέσματα του οποίου συγκρίθηκαν με αυτά από δύο παραλλαγές του σχήματος QUICK. Τέλος, τα αποτελέσματα τους ελέγχθηκαν σε σχέση με τα αυτά που προέκυψαν από μετρήσεις πειραματικού μοντέλου. Οι συγγραφείς κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι το μοντέλο k-ε προέβλεψε ικανοποιητικά την οριζόντια ανακυκλοφορία σε καθένα από τους ανεξάρτητους θαλάμους (διαδρόμους) της δεξαμενής, παρουσιάζοντας επίσης ταύτιση της έκτασης των προβλεπόμενων ανακυκλοφοριών με τις μετρούμενες.

Σε επόμενη εργασία τους, οι Wang & Falconer, [8] υποστήριξαν πως η αξιοπιστία των προβλέψεων της μεταφοράς της διαλυμένης ουσίας, εξαρτάται ισχυρά από την ακρίβεια προσέγγισης των υδροδυναμικών χαρακτηριστικών της δεξαμενής. Παράλληλα, εξετάστηκε η ακρίβεια της διακριτοποίησης των όρων συναγωγής στις εξισώσεις μεταφοράς και τα αριθμητικά αποτελέσματα συγκρίθηκαν με μετρήσεις φυσικού μοντέλου. Οι όροι συναγωγής των εξισώσεων συγκεντρώσεων αποτιμήθηκαν με τη χρήση του σχήματος QUICK και μιας παραλλαγής του σε προσομοιώσεις με διαφορετικά μοντέλα τύρβης. Η αριθμητική πρόβλεψη της μεταφοράς του ιχνηθέτη στη δεξαμενή επαφής, συγκρίθηκε επιτυχώς με πειραματικές μετρήσεις στο φυσικό μοντέλο.

3 ΚΙΝΗΤΙΚΕΣ ΑΠΟΜΕΙΩΣΗΣ

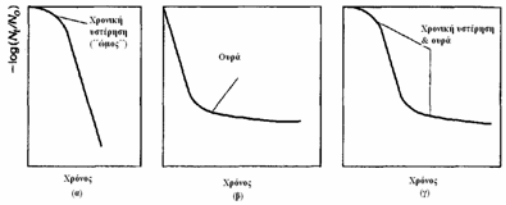
3.1 Κινητική Καταστροφής Παθογόνων Μικροοργανισμών

Ο χρόνος επαφής είναι από τους βασικότερους παράγοντες της απολύμανσης γιατί έχει παρατηρηθεί ότι όσο αυξάνεται το χρονικό διάστημα της επαφής, για μια συγκεκριμένη σταθερή συγκέντρωση του απολυμαντικού μέσου, τόσο αυξάνει το ποσοστό καταστροφής των μικροβίων. Σύμφωνα με το Νόμο του Chick [9], ο ρυθμός μεταβολής της συγκέντρωσης των μικροοργανισμών με το χρόνο εξαρτάται από την σταθερά του ρυθμού αδρανοποίησης k και από τον αριθμό των μικροοργανισμών στο χρόνο t:

$$\partial_t N_t = -k \cdot N_t \qquad (1)$$

Επιπρόσθετα, ο Watson [10] ανέφερε ότι η σταθερά του ρυθμού αδρανοποίησης σχετιζόταν με το γινόμενο της συγκέντρωσης του απολυμαντικού μέσου C, από την σταθερά αποδεκατισμού και από τον εκθέτη n σύμφωνα με την σχέση:

$$k = k' \cdot C^n \qquad (2)$$



Σχήμα 4 Αποκλίσεις από τον νόμο του Chick (α) χρονική υστέρηση (β) φαινόμενο ουράς όπου τα μεγάλα σωματίδια εμποδίζουν την χλωρίωση των μικροοργανισμών, (γ) συνδυασμός των ανωτέρω.

Από τον συνδυασμό των εκφράσεων (1) και (2), προκύπτει:

$$\partial_t N_t = -k' \cdot C^n \cdot N_t \qquad (3).$$

Οι αποκλίσεις από τον κανόνα των Chick και Watson είναι αρκετές και συνηθισμένες. Το Σχήμα 1(α) δείχνει ότι είναι δυνατό να σημειωθεί μια χρονική υστέρηση κατά την οποία τα αιωρούμενα συστατικά στο υγρό αντιδρούν αρχικά με το απολυμαντικό, καθιστώντας το αναποτελεσματικό. Στο Σχήμα 1(β) παρουσιάζεται ουρά ως αποτέλεσμα της προστασίας των μικροοργανισμών που πρόκειται να απολυμανθούν από τα μεγάλα σωματίδια και στο Σχήμα 1(γ) παρατηρείται συνδυασμός της επίδρασης χρονικής υστέρησης και ουράς.

Στις αρχές του 1970, ο Collins διεξήγαγε πειράματα για την απολύμανση διαφόρων αποβλήτων, κάνοντας χρήση αντιδραστήρα διαλείπουσας λειτουργίας, το περιεχόμενο του οποίου ήταν πλήρως αναμεμιγμένο. Ο Collins διαπίστωσε ότι η μείωση των κολοβακτηριδίων κατά τη χλωρίωση μιας πρωτοβάθμιας εκροής, ήταν γραμμική λογαριθμική, χωρίς όμως να λαμβάνεται υπόψη της το φαινόμενο της χρονικής υστέρησης. Μια τροποποίηση της πρότασης Collins εισηγήθηκε ο Selleck [11] και αργότερα ο White [12], της οποίας η μορφή ήταν:

$$\partial_t S = -n \cdot C \cdot b^{-1} \cdot S^{(n+1)/n} \qquad (4)$$

Όπου S είναι ο λόγος N_t/N_O, C η συγκέντρωση του υπολειμματικού χλωρίου, n και b σταθερές που προκύπτουν από τεχνικές στατιστικής επεξεργασίας μετρούμενων τιμών.

Τυπικές τιμές για τους συντελεστές n και b, για δευτεροβάθμια εκροή και για κολοβακτηρίδια γενικής και περιττωματικής προελεύσεως, είναι 2.8 και 0.05 και 2.8 και 0.03, αντίστοιχα. Ωστόσο, εξαιτίας της ποικιλομορφίας της χημικής σύστασης που παρουσιάζουν τα λύματα καθώς και εξαιτίας της διαφοροποίησης της κατανομής μεγέθους των σωματιδίων που εμπεριέχονται σε αυτά, συνίσταται η πειραματική εκτίμηση ανά περίπτωση [1,11].

Η τελευταία σχέση τείνει να χρησιμοποιείται περισσότερο στην περιγραφή της διαδικασίας της χλωρίωσης, και ειδικότερα έχει επικρατήσει για την απολύμανση των αστικών λυμάτων, επειδή αποδίδει με επιτυχία τη μη γραμμικότητα των καμπύλων επιβίωσης και έχει προκύψει από πειραματικές εφαρμογές.

3.2 Κινητική Απομείωσης Χλωρίου

Η κατανάλωση του χλωρίου κατά τη διάρκεια της απολύμανσης των αστικών λυμάτων ακολουθεί δύο στάδια. Αρχικά παρατηρείται ένα γρήγορο στάδιο, που αντιστοιχεί στην άμεση κατανάλωση του προστιθέμενου χλωρίου, ως αποτέλεσμα των αντιδράσεών του με τις απομειούμενες ουσίες που εμπεριέχονται στα λύματα. Στη διάρκεια του δεύτερου βραδύτερου σταδίου, το υπολειμματικό χλώριο μετασχηματίζεται σε ελεύθερο και ενωμένο. Το στάδιο αυτό παρουσιάζει το κυριότερο ενδιαφέρον στην διεργασία της απολύμανσης, καθώς το υπολειμματικό χλώριο είναι διαθέσιμο πλέον να

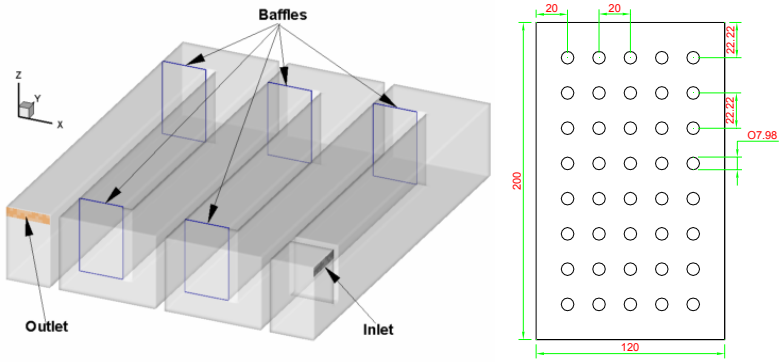
ασκήσει την αντισηπτική του ισχύ. Στη μοντελοποίηση της κατανάλωσης του χλωρίου, λαμβάνεται υπόψη συνήθως μόνο το δεύτερο στάδιο, το οποίο μπορεί και να μετρηθεί. Τα κλασικά μοντέλα, που συναντώνται στη βιβλιογραφία [13-14], για την περιγραφή των αντιδράσεων του χλωρίου, είναι πρώτης τάξης σε σχέση με τη συγκέντρωση του χλωρίου. Αργότερα προτάθηκαν ορισμένες πιο σύνθετες εκφράσεις της απομείωσης του χλωρίου με βάση την κινητική πρώτης τάξης, όπως η κινητική n-οστής τάξης, που δηλώνει πως η ταχύτητα της αντίδρασης είναι ανάλογη της n-οστής συγκέντρωσης του χλωρίου: $\partial_t C = -k' \cdot C^n$ (5), όπου n η τάξη της αντίδρασης. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει το μοντέλο παράλληλης πρώτης τάξης, το οποίο αρχικά παρήχθη από τους Gang et al. [15,16] και υποθέτει δύο συστατικά στην αντίδραση, καθένα από τα οποία απομειώνεται ακολουθώντας μια κινητική πρώτης τάξης. Πιο αναλυτικά, ένα κλάσμα x της αρχικής συγκέντρωσης του χλωρίου, απομειώνεται εκθετικά με ένα ρυθμό kR, ενώ η εναπομείνασα ποσότητα (1-x) απομειώνεται επίσης εκθετικά αλλά με ένα διαφορετικό ρυθμό kS. Ένας τέτοιος νόμος προϋποθέτει ότι η ταχύτητα της αντίδρασης είναι ανάλογη της συγκέντρωσης του αντιδρώντος και άρα η συγκέντρωση του χλωρίου απομειώνεται εκθετικά ως προς το χρόνο, σύμφωνα με την έκφραση:

$$\partial_t C = -\left[x\, k_R + (1-x)\, k_S \right] \cdot C \qquad (6).$$

Για τις ανάγκες της παραμετρικής μελέτης χρησιμοποιείται ένα ζεύγος κινητικών χλωρίου και μικροοργανισμών με ευρύτατη αναγνώριση στην βιβλιογραφία. Το πρώτο ζεύγος χρησιμοποίει παράλληλη κινητική 1ης τάξης για το χλώριο και το μοντέλο Collins-Selleck για τους παθογόνους οργανισμούς. Το κλάσμα αρχικής συγκέντρωσης για την γρήγορη απομείωση του χλωρίου είναι 0.1.

4. ΤΟ ΦΥΣΙΚΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ

Η γεωμετρία που μελετάται, δίνεται στο Σχήμα 2, και αποτελεί τμήμα υφιστάμενης και λειτουργούσας εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων. Οι δεξαμενή χλωρίωσης αποτελείται από έναν θάλαμο προανάμιξης των λυμάτων, από όπου προστίθεται το απολυμαντικό μέσο. Η προανάμιξη τροφοδοτείται με ανυψούμενο θυρόφραγμα χειρός και επικοινωνεί με την υπόλοιπη κατασκευή μέσω μιας διέλευσης υποχείλισης.



Σχήμα 5 Γεωμετρία υπολογιστικού πεδίου (αριστερά) και σκαρίφημα διαφράμματος (δεξιά) 40 οπών με κάλυψη επιφανείας 10%

Η διατομή της υποχείλισης είναι 1.2m x 0.5m, ενώ το μέσο ενεργό βάθος των διαδρόμων 2m. Το πλάτος των μαιάνδρων είναι 1.2m ενώ το μέσο συνολικό μήκος διαδρομής των λυμάτων είναι περίπου 66m. Τα λύματα παροχετεύονται στην δεξαμενή με σταθερό ρυθμό 80 lt/s και ο μέσος χρόνος παραμονής στην διάταξη είναι περίπου

32min. Η έξοδος των επεξεργασμένων λυμάτων γίνεται από διάφραγμα ιδίας επιφανείας με αυτό της εισόδου. Το μικροβιακό φορτίο εισέρχεται στο υπολογιστικό πεδίο μαζί με τα λύματα (νερό). Η συγκέντρωση τους είναι σταθερή και ίση με 10^{11} οργανισμοί/m^3. Το χλώριο προστίθεται αφού τα λύματα εισέλθουν στον χώρο προανάμιξης.

Η παροχή είναι επίσης σταθερή και ίση με 5gr/m^3. Στο υποχωρίο προανάμιξης επιτυγχάνεται ικανοποιητική μίξη των λυμάτων με το απολυμαντικό μέσο, έτσι ώστε να επιτευχθεί η μέγιστη δυνατή καταστροφή των παθογόνων οργανισμών κατά την διέλευση τους από τους διαδρόμους της δεξαμενής. Στην αρχή κάθε διαδρόμου έχουν τοποθετηθεί μεταλλικά διαφράγματα (Σχ. 2 δεξιά) με οπές μέσα από τις οποίες γίνεται η διέλευση των λυμάτων και του απολυμαντικού μέσου. Στην παραμετρική μελέτη που διεξάγεται, χρησιμοποιούνται διαφράγματα με οπές, που η συνολική τους επιφάνεια αντιστοιχεί σε 6 περιπτώσεις από 5% έως 10% της διατομής του καναλιού και τα αποτελέσματα της συγκρίνονται με αντίστοιχα από δεξαμενή ελεύθερης διέλευσης .

5. ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ

Οι χρονικά μέσες Navier-Stokes εξισώσεις σε γενική μορφή είναι [17]:

$$\frac{\partial}{\partial x_i}\left(\rho U_i \Phi\right) = \frac{\partial}{\partial x_i}\left(\Gamma_\Phi \frac{\partial \Phi}{\partial x_i}\right) + S^\Phi \qquad (7)$$

όπου U_i, είναι οι συνιστώσες της ταχύτητας στην κατεύθυνση x_i, και η εξαρτημένη μεταβλητή Φ αντιπροσωπεύει τις συνιστώσες ταχύτητας, την κινητική ενέργεια k, την σκέδαση ε της τύρβης, την συγκέντρωση του απολυμαντικού μέσου C (χλώριο) και την συγκέντρωση των μικροβιακού φορτίου N. Επίσης, ρ είναι η πυκνότητα του ρευστού, Γ_Φ ο συντελεστής διάχυσης των τιμών του Φ και S^Φ είναι ο όρος πηγής ή καταβόθρας για κάθε εξίσωση των Φ. Η πτώση πίεσης σε κάθε διάφραγμα προκύπτει από την ακόλουθη σχέση: [16]

$$\Delta P = \frac{\rho}{2}\left(\frac{A}{C\,n\,\alpha}\right)^2 U^2 \qquad (8)$$

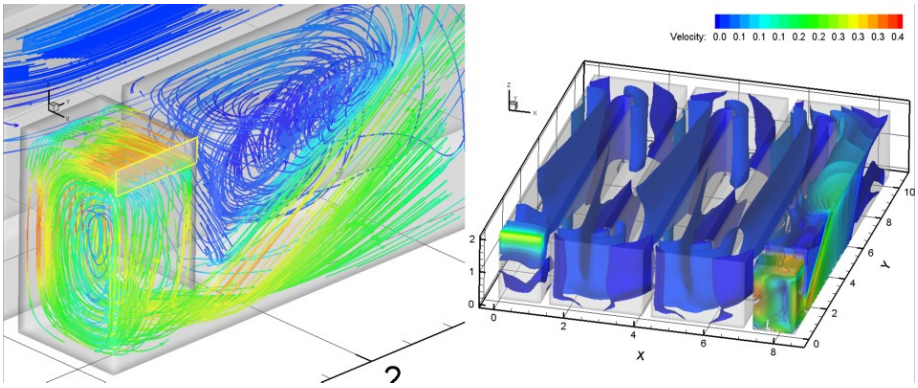
όπου A η διατομή του καναλιού διέλευσης, α η επιφάνεια οπής, n ο αριθμός των οπών, C ο συντελεστής venna contracta και U η ταχύτητα του ρευστού πριν το διάφραγμα.

5.1 Υπολογιστικές Λεπτομέρειες

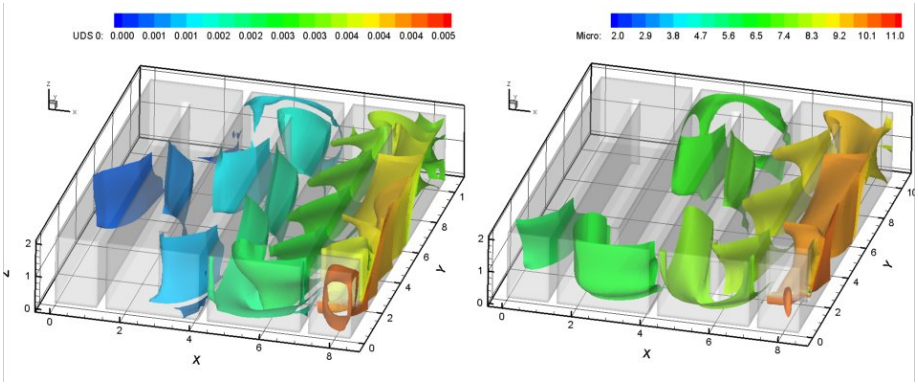
Οι εξισώσεις που αντιστοιχούν στην (7) επιλύονται με την μέθοδο των πεπερασμένων όγκων χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο SIMPLEC [17]. Η διακριτοποίηση των όρων συναγωγής στις εξισώσεις μεταφοράς ορμής, τύρβης και συγκεντρώσεων γίνεται με σχήμα τρίτης τάξης TVD Roe-Sweby [18]. Οι εξισώσεις των συγκεντρώσεων επιλύονται εφόσον είναι γνωστά τα πεδία ταχυτήτων, της πίεσης και των μεγεθών της τύρβης, χωρίς να προκαλούν μεταβολές στις εξισώσεις κίνησης και στην αντίστοιχη της συνέχειας. Αυτό συμβαίνει λόγω της εξαιρετικά μικρής μάζας του απολυμαντικού μέσου και του μικροβιακού φορτίου σε σχέση με τα λύματα (<0,01%), που δεν προκαλούν προβλήματα στην ικανοποίηση στη συνέχεια της μάζας. Για τις προσομοιώσεις χρησιμοποιήθηκε ένα δομημένο πλέγμα 150.000 εξαεδρικών κελιών που αποτελείται από 17 τμήματα (Blocks). Η ελεύθερη επιφάνεια των λυμάτων προσεγγίζεται με συνοριακή συνθήκη συμμετρίας και τα διαφράγματα με πορώδεις επιφάνειες, των οποίων οι συντελεστές τους αντιστοιχούν στο ποσοστό επιφανείας των οπών προκαλώντας την αντίστοιχή πτώση πίεσης όπως εκφράζεται από την (8).

6. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Ενδεικτικά αποτελέσματα της δράσης του χλωρίου σε δεξαμενή χλωρίωσης ελεύθερης διέλευσης παρουσιάζονται στα Σχήματα 3 και 4. Στα Σχήμα 3(αριστερά) καταγράφονται οι 3Δ γραμμές ροής κατά την είσοδο των λυμάτων στο χώρο ανάμιξης της δεξαμενής και το πεδίο του μέτρου ταχύτητας (δεξιά) σε ισοεπιφάνειες (isosurfaces) στην δεξαμενή. Στο χώρο αυτό σημειώνεται ισχυρή ανακυκλοφορία του ρευστού και συγχρόνως γίνεται και έγχυση του απολυμαντικού μέσου. Το αναμεμειγμένο ρευστό μέσω της υποχείλισης εισέρχεται στον πρώτο διάδρομο της δεξαμενής, όπου παρατηρούνται ισχυρά τρισδιάστατα φαινόμενα. Παράλληλα, εντοπίζεται μια μεγάλη ανακυκλοφορία στο άνω αρχικό τμήμα του πρώτου διαδρόμου, ενώ η ροή στα πρώτα 3 διαμερίσματα δεν εμφανίζει τρισδιάστατη ομοιογένεια. Η ανομοιογενής συμπεριφορά είναι εντονότερη στον πρώτο διάδρομο και βαίνει μειούμενη μέχρι και τον τρίτο.



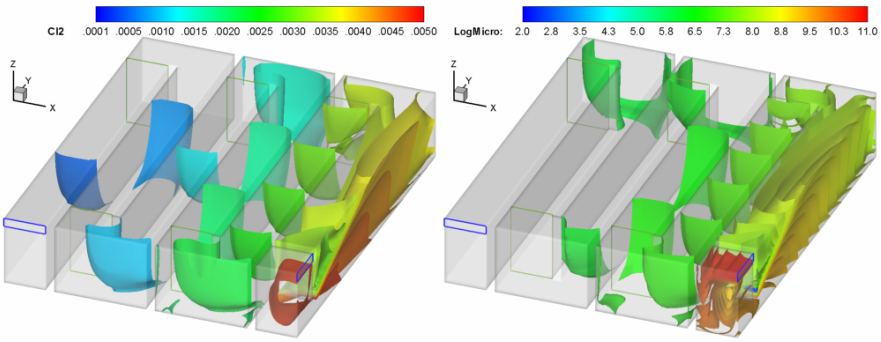
Σχήμα 6 3Δ γραμμές ροής στην προανάμιξη των λυμάτων και κατανομές ταχυτήτων για την δεξαμενή ελεύθερης διέλευσης



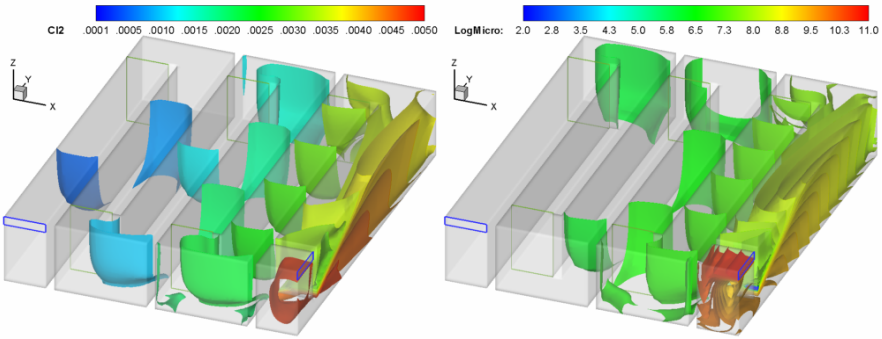
Σχήμα 7 3Δ κατανομές απολυμαντικού μέσου και των μικροοργανισμών για την δεξαμενή ελεύθερης διέλευσης

Στα Σχήματα 4 και 5 παρουσιάζονται οι κατανομές συγκεντρώσεων χλωρίου και παθογόνων μικροοργανισμών σε δεξαμενές με διαφράγματα που εμφανίζουν επιφάνεια οπών 5% και 7%, αντίστοιχα. Στο χώρο ανάμιξης εμφανίζεται η μεγαλύτερη κατανάλωση του απολυμαντικού μέσου λόγω της ισχυρής ανακυκλοφορίας. Οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις χλωρίου σημειώνονται στα πρώτα 3 διαμερίσματα της δεξαμενής, ενώ ο ρυθμός απομείωσης του ελλατώνεται προοδευτικά κατά μήκος της διαδρομής. Η πτώση του ρυθμού αυτού γίνεται εντονότερη στις καμπές της διαδρομής

(στροφές) κατά τις όποιες εμφανίζονται ανακυκλοφορίες που παγιδεύουν ποσότητες ρευστού με ταχύτητα μικρότερη από την μέση επικρατούσα ταχύτητα. Στα τελευταία διαμερίσματα ο ρυθμός απομείωσης εκφυλίζεται μέχρι να μηδενιστεί εντελώς. Η ποσότητα χλωρίου στο τελευταίο χωρίο σχεδόν εξαντλείται. Η απομείωση του χλωρίου δεν ακολουθεί ομοιόμορφη κατανομή στο ύψος της δεξαμενής. Είναι ταχύτερη κοντά στην ελεύθερη επιφάνεια και βραδύτερη στον πυθμένα, λόγω των χαμηλότερων εκεί ταχυτήτων. Αυτή η συμπεριφορά ενισχύει την αναγκαιότητα για 3Δ αντιμετώπιση του προβλήματος καθώς, η 2Δ θεώρηση αδυνατεί να προβλέψει την καθ' ύψος διαστρωμάτωση της ροής.



Σχήμα 8 Κατανομές χλωρίου και μικροοργανισμών με διαφράγματα επιφάνειας 5%



Σχήμα 9 Κατανομές χλωρίου και μικροοργανισμών με διαφράγματα επιφάνειας 7%

Η αρχική συγκέντρωση μικροοργανισμών υφίσταται ισχυρή απομείωση στο χωρίο ανάμιξης λόγω της ισχυρής παρουσίας χλωρίου και της έντονης ανάμιξης. Η πτώση της συγκέντρωσης των παθογόνων μικροοργανισμών γίνεται με μηχανισμό όμοιο με αυτόν που περιγράφηκε στην περίπτωση του χλωρίου. Η πτώση του ρυθμού απομείωσης σημειώνεται στα σημεία που η ροή επιβραδύνεται, ενώ η απομείωση πραγματοποιείται ταχύτερα κοντά στην ελεύθερη επιφάνεια από ότι στον πυθμένα. Στον πίνακα που ακολουθεί, δίνονται στοιχεία σχετικά με τις μέσες συγκεντρώσεις απολυμαντικού μέσου και μικροοργανισμών που καταγράφονται στην έξοδο της κάθε δεξαμενής. Το μεγαλύτερο μέρος της απομείωσης συντελείται στα πρώτα 3 διαμερίσματα των δεξαμενών, και κυρίως στον πρώτο διάδρομο μετά το χωρίο ανάμιξης. Στον Πίνακα 1 συνοψίζονται οι μέσες συγκεντρώσεις απολυμαντικού και μικροοργανισμών στην έξοδο της δεξαμενής για κάθε περίπτωση, σε σύγκριση με αυτές της δεξαμενής ελεύθερης διέλευσης.

Πίνακας 8 Μέσες τιμές συγκεντρώσεων χλωρίου & μικροοργανισμών στην εκροή των δεξαμενών

Ποσοστό Επιφανείας Οπών [%]	Συντελεστής ΔP ανά Διάφραγμα [Pa/m]	Μέση Συγκέντρωση Απολυμαντικού [mg/lt]	Μέση Συγκέντρωση Μικροοργανισμών [οργ./100 ml]
0	0	0.4711	110.174
5	12500	0.4676	96.438
6	8680	0.4674	95.794
7	6377	0.4675	95.402
8	4883	0.4676	95.164
9	3858	0.4677	95.021
10	3125	0.4679	94.919

Από τα παραπάνω στοιχεία προκύπτει ότι η τοποθέτηση διαφραγμάτων επιφέρει βελτίωση της απόδοσης της διεργασίας απολύμανσης κατά 12.5% έως 14% σε σχέση με την απλή αντιμετώπιση. Το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα, επιτυγχάνεται με την χρήση διαφράγματος που προκαλεί την μικρότερη πτώση πίεσης και εμφανίζει την μεγαλύτερη επιφάνεια διέλευσης ρευστού. Αντίθετα, το διάφραγμα με την μικρότερη επιφάνεια διέλευσης και την μεγαλύτερη πτώση πίεσης επιτυγχάνει απόδοση μικρότερη κατά 1.5% από την βέλτιστη περίπτωση και αρκετά καλύτερη από την απλούστερη περίπτωση. Η βελτιωμένη απόδοση που παρουσιάζουν οι δεξαμενές με διαφράγματα οφείλεται στους μηχανισμούς μείωσης της τύρβης και της διασποράς στην εγκάρσια διεύθυνση της ροής και στην καλύτερη αξιοποίηση του απολυμαντικού μέσου στα πρώτα τρία διαμερίσματα.

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Αναπτύχθηκε ένα μοντέλο υπολογιστικής ρευστοδυναμικής για την προσομοίωση 3Δ τυρβώδους ροής και της διαλυτικής δράσης των χημικών ουσιών εξουδετέρωσης του μικροβιακού φορτιού σε τυπική δεξαμενή καθαρισμού αστικών λυμάτων. Επιλύθηκαν οι χρονικά μέσες εξισώσεις Navier-Stokes, με χρήση του μοντέλου τύρβης k-ε, λαμβάνοντας υπόψη και την υδροστατική φύση της ροής, μαζί με τις βαθμωτές εξισώσεις μεταφοράς για την χλωρίωση και την απομείωση του μικροβιακού φορτίου. Τα αποτελέσματα αναδεικνύουν την χρησιμότητα της υπολογιστικής ρευστοδυναμικής στην κατανόηση και σχεδιασμό δεξαμενών χλωρίωσης και εξάγουν συμπεράσματα για την απόδοση βασικών τύπων δεξαμενών με την χρήση ή μη διαφραγμάτων οπής διέλευσης ρευστού. Συγκεκριμένα, η χρησιμοποίηση απλών διαφραγμάτων οπής επιφέρει σημαντική βελτίωση κατά την απολύμανση των παθογόνων μικροοργανισμών συγκριτικά με το κόστος κατασκευής και εγκατάστασης σε υφιστάμενες δεξαμενές.

Η αύξηση του ποσοστού κάλυψης της επιφάνειας με οπές πάνω από 8% επιφέρει ασήμαντη μεταβολή στη μέση συγκέντρωση απολυμαντικού και μικροοργανισμών στην έξοδο. Παρόλα αυτά, η μελλοντική διεξαγωγή παραμετρικής μελέτης για τον προσδιορισμό του βέλτιστου ποσοστού επιφάνειας οπών, όπως και η αντικατάσταση των διαφραγμάτων με πλέγμα παραμένει ανοικτό προς διερεύνηση αντικείμενο μελέτης.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Metcalf & Eddy Inc., 'Wastewater Engineering – Treatment and Reuse', Revised by Tchobanoglous G., Burton F.I. & Stensel H.D., McGraw Hill Intl Editions, 4th Edition, 2003
2. Rodi W., 1980, Turbulence Models and their Application in Hydraulics - A State of the Art Review, Proceedings of the IAHR-Section on Fundamentals of Division 11 Experimental and Mathematical Fluid Dynamics, Delft, Netherlands
3. Ives K.J., 1995, The inside story of water-treatment processes, Journal of Environmental Engineering, ASCE 121(12), 846-849
4. Hart F.L and Vogiatzis Z., 1982, Performance of Modified Chlorine Contact Chamber, Journal of the Environmental Engineering Division, 108 (3), 549-561
5. Falconer, R.A. and Liu, S.Q., 1988, Modelling Solute Transport Using QUICK Scheme, ASCE Journal of Environmental Engineering, 114, 3-20
6. Falconer, R.A. and Ismail, A.I., 1997, Numerical modelling of tracer transport in a contact tank, Environment International, 23 (6), 763-773
7. Wang H. and Falconer, R.A., 1998, Simulating disinfection processes in chlorine contact tanks using various turbulence models and high-order accurate difference schemes, Water Environment Research, 32 (5), 1529-1543
8. Wang H. and Falconer, R.A., 1998, Numerical modelling of flow in chlorine disinfection tank, Journal of Hydraulic Engineering, 9, 918-931
9. Chick, H., 1908, An investigation of the laws of disinfection, Journal of Hygiene, 8, 92-158
10. Watson, H.E., 1908, A Note on the variation of the rate of disinfection with change in the concentration of the disinfection, Journal of Hygiene, 8, 536-542
11. Selleck, R.E., Saunier, B.M. and Collins, H.F., 1978, Kinetics of bacterial deactivation with chlorine, Journal of Environmental Engineering, 104, 1197-1212
12. White, G.C. 1992. The handbook of chlorination and alternative disinfectants, 3rd Ed., p. 290-478. Van Nostrand Reinhold, New York.
13. Prokop, A. and Humphrey A. E., 1970, Kinetics of Disinfection', Benarde, Melvin A., 61-83
14. Hom, L.W. 1972. Kinetics of chlorine disinfection in an ecosystem. ASCE J. Sanit. Eng. Div., 98, 183–193
15. Gang D.D., J.R. Segar, T.E., Clevenger and S.K. Banerji, 2002, 'Using chlorine demand to predict TTHM and HAA9 formation', Journal of American Water Works Association, 94 (10),76–86
16. White, G. C., 1999, Handbook of Chlorination and Alternative Disinfectants, 4th ed., Wiley New York.
17. Roe P.L., 1981, Approximate Riemann solvers, parameter vectors and difference schemes, Journal of Computational Physics, 43, 357-372
18. Van Doormaal, J.P. and Raithby, G.D., 1984, Enhancements of the SIMPLE method for predicting incompressible fluid flows, Numerical Heat Transfer, 7, 147-63

Ενότητα 7:

Μετασυλλεκτική / Μετασυγκομιστική Τεχνολογία

(130)

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΣΧΕΣΕΙΣ ΚΑΙ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ ΤΩΝ ΑΠΩΛΕΙΩΝ ΜΑΖΑΣ ΨΥΧΡΟΣΥΝΤΗΡΟΥΜΕΝΩΝ ΜΗΛΩΝ *PILAFA DELICIOUS* ΚΑΙ *GRANNY SMITH*

Θ. Θεοδωρίδης[1], Ε. Μανολωπούλου[1], Γρ. Λαμπρινός[2] και Ε. Αραβαντινός–Καρλάτος[2]

[1]ΤΕΙ Καλαμάτας, Σχολή ΤΕ.Γ., Τμήμα Φ.Π., Τ.Κ. 24100, Αντικάλαμος–Καλαμάτα, e–mail: e.manolopoulou@teikal.gr

[2]Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Α.Φ.Π. & Γ.Μ., Ιερά Οδός 75, Τ.Κ. 11855, Τηλ. 210 529 4031, Fax. 210 529 4032, e–mail: refrigenergy@aua.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της εργασίας ήταν η μελέτη σε δύο ποικιλίες μήλων (*Pilafa Delicious* και *Granny Smith*) των απωλειών μάζας λόγω φυσιολογικής δραστηριότητας, καθώς και η ανάπτυξη σχέσεων μεταξύ των γεωμετρικών χαρακτηριστικών των καρπών και της μάζας τους ώστε να είναι δυνατή η πρόβλεψη απώλειας της τελευταίας με το χρόνο και τις συνθήκες συντήρησης. Τα πειραματικά αποτελέσματα έδειξαν ότι οι απώλειες της πρώτης, ήταν υπερεξαπλάσιες της δεύτερης, οι απώλειες μάζας από τη φυσιολογική δραστηριότητα ήταν 7–9% των συνολικών, ενώ η εκτίμηση των γεωμετρικών τους μεγεθών (επιφάνεια και όγκος) βάσει της μέσης διαμέτρου οδήγησε σε υποεκτιμήσεις από 6% για την πρώτη ποικιλία έως 12% για τη δεύτερη, επί των πραγματικών τιμών. Προτείνονται διορθωτικές σχέσεις επί των παραπάνω εκτιμήσεων.

EXPERIMENTAL RELATIONS AND PREDICTION DATA OF COLD–STORED *PILAFA DELICIOUS* AND *GRANNY SMITH APPLES*

T. Theodoridis[1], H. Manolopoulou[1], Gr. Lambrinos[2] and V. Aravantinos–Karlatos[2]

[1]Technological Educational Institute of Kalamata, Dep. of Crop Science, Antikalamos, 24100, Kalamata–Greece, e–mail: e.manolopoulou@teikal.gr

[2]Agricultural University of Athens, Dep. of Natural Resources & Agr. Eng., 75, Iera Odos Str., 118 55, Athens–Greece, Tel.+3 210 529 4029, Fax +3 210 529 4032

ABSTRACT

Aim of this work was to study the mass loss due to physiological activity of two apple varieties (*Pilafa Delicious* and *Granny Smith*). Relations were developed between the geometric characteristics and mass of the apples in order the last one be to predictable with time and storage conditions. The analysis revealed that mass losses of the first variety were sixfold of the second variety, the mass loss due to physiological activity were 7–9% of the respective ones and lastly the estimation of apples' surface and volume based on the mean diameter drove in sub–estimations from 6% (first ones) up to 12% (second ones) of the real ones. Correction relations have been also developed and are provided.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η απώλεια μάζας των συντηρούμενων μήλων, εξαρτώμενη τόσο από τη φυσιολογική δραστηριότητα τους όσο και από τις περιβαλλοντικές συνθήκες αποθήκευσης (θερμοκρασία, σχετική υγρασία), υποβαθμίζει την ποιότητα τους. Η απώλεια μάζας των καρπών συνδέεται τόσο με μεταβολές στην εμφάνιση (ρυτίδωση), όσο και με απώλεια άλλων οργανοληπτικών χαρακτηριστικών (τραγανότητα) [1], [6].

Πέρα από τη φυσιολογική δραστηριότητα και τις συνθήκες αποθήκευσης, ο ρυθμός απώλειας μάζας εξαρτάται από τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της ποικιλίας. Ορισμένες ποικιλίες όπως είναι και η *Pilafa Delicious* χαρακτηρίζονται από μικρή αντίσταση στην αφυδάτωση, η οποία μπορεί να εξελιχθεί σε κυρίαρχο παράγοντα υποβάθμισης της ποιότητας των συντηρούμενων καρπών. Κάποιες άλλες ποικιλίες, όπως π.χ. η *Granny Smith*, χαρακτηρίζονται από μεγάλη αντίσταση στην απώλεια νερού. Αυτή η διαφορά συμπεριφοράς αποδίδεται τόσο στα μορφολογικά χαρακτηριστικά της επιδερμίδας (πάχος, πυκνότητα και μέγεθος στοματίων), όσο και στην ύπαρξη και δράση κεριών [2]. Στην εύκολα αφυδατούμενη ποικιλία *Pilafa Delicious*, η απώλεια μάζας οφείλεται κυρίως σε απώλεια νερού [3]. Υπάρχουν αρκετές ήδη αναφορές σχετικά με την αφυδάτωση της ποικιλίας *Pilafa Delicious* σε διάφορες συνθήκες αποθήκευσης, καθώς και συσχέτιση των απωλειών μάζας με τις συνθήκες συντήρησης [3, 4, 5]. Παρόλα αυτά δεν έχει μελετηθεί συστηματικά η μεταβολή της απώλειας μάζας που οφείλεται στη φυσιολογική δραστηριότητα των μήλων.

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι η μελέτη αφ' ενός των απωλειών μάζας που οφείλονται στη φυσιολογική δραστηριότητα της ποικιλίας, αφ' ετέρου της δημιουργίας τράπεζας δεδομένων και σχέσεων που θα εκτιμούν διάφορα γεωμετρικά χαρακτηριστικά (επιφάνεια, όγκο) των μήλων δύο ποικιλιών (*Pilafa Delicious* και *Granny Smith*) ώστε να διευκολύνονται οι εκτιμήσεις της αναπνευστικής δραστηριότητας και της πυκνότητας των καρπών, παράλληλα όμως να καθίσταται εύκολη και η πρόβλεψη των απωλειών μάζας ανάλογα με τις συνθήκες συντήρησης.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Η πρώτη ύλη που χρησιμοποιήθηκε στη μελέτη αυτή ήταν μήλα ποικιλιών *Pilafa Delicious* και *Granny Smith* από την Τεγέα της Αρκαδίας, τα οποία μετά τη συλλογή μεταφέρθηκαν οδικώς στο εργαστήριο. Αφού απομακρύνθηκαν τα χτυπημένα και προσβεβλημένα μήλα, στη συνέχεια έγινε διαλογή ως προς το μέγεθος. Για κάθε ποικιλία δημιουργήθηκαν 6 ομάδες από 15 μήλα η κάθε μία. Τα μήλα των τριών πρώτων ομάδων συσκευάστηκαν σε ατομικές συσκευασίες από film πολυαιθυλενίου χαμηλής πυκνότητας (918 $kg.m^{-3}$), ενώ τα μήλα των τριών άλλων ομάδων έμειναν ασυσκεύαστα για να χρησιμοποιηθούν ως μάρτυρες. Οι συσκευασίες έφεραν μια τρύπα 2 mm, γιατί σκοπός τους ήταν η δημιουργία υψηλού ποσοστού υγρασίας (κορεσμένη ατμόσφαιρα) και όχι η δημιουργία τροποποιημένης ατμόσφαιρας. Στη συνέχεια μια ομάδα συσκευασμένων μήλων και μια ομάδα ασυσκεύαστων, τοποθετήθηκαν σε κάθε θάλαμο 0, 10 και 20 ^{o}C.

Οι μέσες συνθήκες των ψυκτικών θαλάμων όπου συντηρήθηκαν τα μήλα ήταν οι εξής:

Θάλαμος 0 ^{o}C: θερμοκρασία 0.4 ^{o}C, σχετική υγρασία 79,5 %

Θάλαμος 10 ^{o}C: θερμοκρασία 10.2 ^{o}C, σχετική υγρασία 79,4%

Θάλαμος 20 ^{o}C: θερμοκρασία 19.6 ^{o}C, σχετική υγρασία 65%

Για την εκτίμηση των γεωμετρικών στοιχείων και τη συσχέτιση τους με τη μάζα των μήλων, χρησιμοποιήθηκαν ομάδες των 40 μήλων από κάθε ποικιλία. Σε κάθε μήλο, με

τη βοήθεια ψηφιακού μικρόμετρου, γινόταν κάθε φορά μέτρηση των τριών διαμέτρων του (σε τρισδιάστατο σύστημα αξόνων) και με ζυγό ακριβείας 0.02 g η μάζα του.

Παράλληλα για την εκτίμηση της ακρίβειας των παραπάνω συσχετίσεων, έγινε και προσδιορισμός του όγκου των μήλων με εμβάπτιση σε ειδικό ογκομετρικό δοχείο, σε όλες τις ομάδες 40 μήλων κάθε ποικιλίας τόσο στην αρχή, όσο και στο τέλος της συντήρησης.

Για την επεξεργασία των πειραματικών δεδομένων χρησιμοποιήθηκε το στατιστικό πακέτο STATGRAPHICS Centurion XV Version 15.2.00.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΧΟΛΙΑ

Οι τιμές του μέσου ρυθμού απωλειών μάζας συσκευασμένων και ασυσκεύαστων μήλων των δύο ποικιλιών παρουσιάζονται στον πίνακα 1 και για τις τρείς συνθήκες συντήρησης.

Πίνακας 1. Μέσος Ρυθμός Απώλειας Μάζας (% ανά ημέρα) των συντηρηθέντων μήλων στις τρείς θερμοκρασίες (0, 10 και 20 ^{o}C) και οι αντίστοιχοι Ρυθμοί Αναπνοής.

Ποικιλία / **Θερμοκρασία Συντήρησης**	**Pilafa Delicious**			**Granny Smith**		
	Ρυθμός Απωλειών Ασυσκ/των	Ρυθμός Απωλειών Συσκ/νων	Ρυθμός Αναπνοής mg $kg^{-1}h^{-1}$	Ρυθμός Απωλειών Ασυσκ/των	Ρυθμός Απωλειών Συσκ/νων	Ρυθμός Αναπνοής mg $kg^{-1}h^{-1}$
0 ^{o}C	0.059	0.011	3.00	0.017	0.007	1.50
10 ^{o}C	0.122	0.027	8.00	0.066	0.019	4.00
20 ^{o}C	0.272	0.084	23.00	0.149	0.070	15.00

Συγκρίνοντας τις τιμές του πίνακα συμπεραίνουμε ότι τα ασυσκεύαστα μήλα *Pilafa Delicious* στους 0 ^{o}C έχουν 3.5 φορές μεγαλύτερη απώλεια μάζας απ' ό,τι τα *Granny Smith*, στους 10 ^{o}C έχουν περίπου διπλάσια απώλεια μάζας όπως περίπου και στους 20 ^{o}C. Οι μεταβολές των απωλειών μάζας μεταξύ 0 ^{o}C, 10 ^{o}C και 20 ^{o}C των συσκευασμένων μήλων και των δύο ποικιλιών συμφωνούν με αυτές της αναπνευστικής δραστηριότητας τους και επομένως μπορούμε να θεωρήσουμε ότι αυτές αντιστοιχούν αποκλειστικά στο φυσιολογικό και μόνο φαινόμενο (αναπνοή–διαπνοή) και δεν οφείλονται στις εξωτερικές συνθήκες (έλλειμμα πίεσης υδρατμών) απ' όπου εξαρτώνται οι επιπλέον απώλειες των ασυσκεύαστων καρπών.

Στους πίνακες 2 και 3 εμφανίζονται οι σχέσεις που δίνουν τον όγκο και την επιφάνεια του μήλου συναρτήσει της μάζας του και με τις δύο μεθόδους εκτίμησης (με μέση διάμετρο ή με ογκομέτρηση του καρπού). Ενώ οι διαφορές που οφείλονται στην απώλεια μάζας των καρπών (αρχή και τέλος πειράματος) είναι ασήμαντες, οι διαφορές μεταξύ των δύο μεθόδων είναι σημαντικές και μπορούν να κυμαίνονται από 8.90% έως 10.80% στα *Pilafa Delicious* και από 9.60% έως 14.00% στα *Granny Smith* ανάλογα με τη μάζα των μήλων. Η διαφορά αυτή αναφέρεται πάντοτε σε υποεκτίμηση της μεθόδου που βασίζεται στη μέση διάμετρο του καρπού και πρέπει να εξηγηθεί από το γεγονός ότι στον υπολογισμό το μήλο θεωρείται σφαιρικό. Ωστόσο οι συσχετίσεις με την πρώτη μέθοδο είναι απαραίτητες (με την απαραίτητη διόρθωση φυσικά) για τις διάφορες εκτιμήσεις και υπολογισμούς, διότι δεν συνιστάται τα συντηρούμενα μήλα να ογκομετρούνται με εμβάπτιση σε νερό. Χρησιμοποιώντας τις τιμές από τη συσχέτιση S_o=A·m+B που προέκυψε από ογκομέτρηση (Πίνακας 3) υπολογίστηκε η μεταβολή της

μέσης πυκνότητας των απωλειών μάζας των μήλων και των δύο ποικιλιών για τις τρεις συνθήκες συντήρησης. Οι πίνακες 4 και 5 δίνουν τις σχέσεις μεταβολής του ρυθμού (MLR) και της πυκνότητας απώλειας μάζας (MLF) των μήλων των δύο ποικιλιών με το χρόνο συντήρησης, ενώ αντίστοιχα το σχήμα 1 απεικονίζει τη μεταβολή της πυκνότητας απώλειας μάζας (MLF) με το χρόνο συντήρησης για τις δύο ποικιλίες στους 0 ^{o}C.

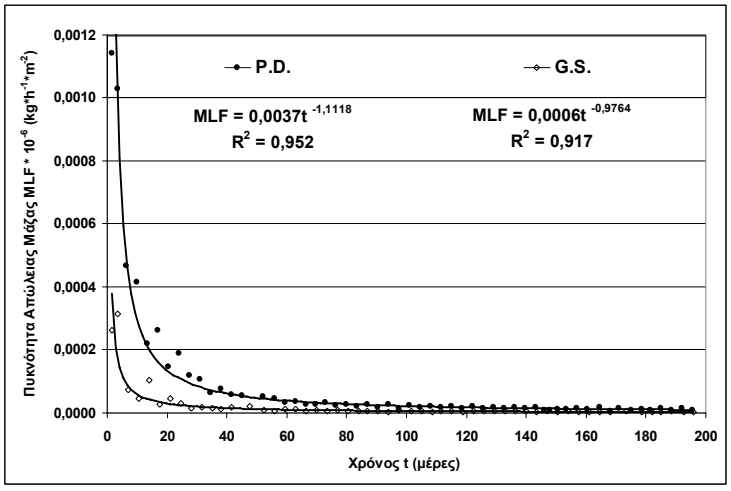
Παρατηρούμε ότι πρόκειται για μεταβολές γεωμετρικής μορφής $Y = A\ x^{-B}$. Κατά την πρώτη περίοδο του φαινομένου (10 έως 40 ημέρες ανάλογα με τη θερμοκρασία συντήρησης) ο ρυθμός και η πυκνότητα απώλειας μάζας μειώνονται ταχέως. Σταθεροποίηση του ρυθμού και της πυκνότητας απώλειας μάζας πρακτικά επιτυγχάνεται μόνο κατά τη συντήρηση στους 0 ^{o}C μετά την 100^{η} ημέρα συντήρησης. Όπως φυσικά αναμενόταν τόσο ο ρυθμός όσο και η πυκνότητα απώλειας μάζας αυξάνονται με τη θερμοκρασία συντήρησης. Επίσης τα δύο μεγέθη (MLR, MLF) που αφορούν τα μήλα *Granny Smith* υπολείπονται σημαντικά των αντίστοιχων της ποικιλίας *Pilafa Delicious*.

Πίνακας 2. Συσχέτιση Όγκου V (cm^3) και μάζας m (g) μήλων μεγέθους από 140 έως 250 g

Ποικιλία / **Συνθήκες Εκτίμησης**	**Pilafa Delicious**	**Granny Smith**
Υπολογισμός με μέση διάμετρο (έναρξη)	$V_o = 1.090\ m + 0.144$ ($R^2 = 0.910$)	$V_o = 1.107\ m - 2.067$ ($R^2 = 0.936$)
Υπολογισμός με μέση διάμετρο (τέλος)	$V = 1.049\ m + 7.216$ ($R^2 = 0.894$)	$V = 1.111\ m - 0.943$ ($R^2 = 0.926$)
Ογκομέτρηση στην έναρξη της συντήρησης	$V_o = 1.21\ m - 1.923$ ($R^2 = 0.983$)	$V_o = 1.331\ m - 16.514$ ($R^2 = 0.976$)
Ογκομέτρηση στο τέλος της συντήρησης	$V = 1.218\ m - 2.045$ ($R^2 = 0.978$)	$V = 1.373\ m - 22.085$ ($R^2 = 0.985$)

Πίνακας 3 : Συσχέτιση Επιφάνειας S (cm^2) και μάζας m (g) μήλων μεγέθους από 140 έως 250 g

Ποικιλία / **Συνθήκες Εκτίμησης**	**Pilafa Delicious**	**Granny Smith**
Υπολογισμός με μέση διάμετρο (έναρξη)	$S_o = 0.593\ m + 56.279$ ($R^2 = 0.907$)	$S_o = 0.603\ m + 55.969$ ($R^2 = 0.926$)
Υπολογισμός με μέση διάμετρο (τέλος)	$S = 0.587\ m + 57.125$ ($R^2 = 0.891$)	$S = 0.598\ m + 55.773$ ($R^2 = 0.934$)
Ογκομέτρηση στην έναρξη της συντήρησης	$S_o = 0.636\ m + 59.214$ ($R^2 = 0.981$)	$S_o = 0.690\ m + 53.295$ ($R^2 = 0.975$)
Ογκομέτρηση στο τέλος της συντήρησης	$S = 0.657\ m + 56.017$ ($R^2 = 0.976$)	$S = 0.175\ m + 49.792$ ($R^2 = 0.984$)



Σχήμα 1 Μεταβολή της πυκνότητας απώλειας μάζας των συντηρηθέντων μήλων *Pilafa Delicious* (πάνω)και *Granny Smith* (κάτω)κατά την συντήρηση τους στους 0 ^{o}C.

Πίνακας 4 : Συσχέτιση της μεταβολής του ρυθμού απώλειας μάζας MLR (kg h^{-1}) με το χρόνο συντήρησης t (ημέρες) για διάφορες θερμοκρασίες, $MLR = A\ t^{-B}$

Ποικιλία	**Pilafa Delicious**			**Granny Smith**		
Συνθήκη Συντήρησης	A	B	R^2	A	B	R^2
0 ^{o}C	0.7246	1.1352	0.953	0.1026	0.9858	0.922
10 ^{o}C	0.2350	0.7185	0.835	0.0639	0.5442	0.828
20 ^{o}C	1.2272	0.9169	0.789	0.3393	0.7120	0.784

Πίνακας 5: Συσχέτιση της μεταβολής της πυκνότητας απώλειας μάζας MLF (kg h^{-1} m^{-2}) με το χρόνο συντήρησης t (ημέρες) για διάφορες θερμοκρασίες, $MLF = A\ t^{-B}$

Ποικιλία	**Pilafa Delicious**			**Granny Smith**		
Συνθήκη Συντήρησης	A	B	R^2	A	B	R^2
0 ^{o}C	0.0037	1.1118	0.952	0.0006	0.9764	0.917
10 ^{o}C	0.0013	0.6982	0.823	0.0004	0.5331	0.824
20 ^{o}C	0.0069	0.8858	0.802	0.0019	0.7000	0.782

Βεβαίως η εξήγηση της διαφορετικής συμπεριφοράς των δύο ποικιλιών, όσον αφορά τις απώλειες μάζας, μπορεί να αποδοθεί τόσο στις διαφορές τους στην αναπνευστική δραστηριότητα [7, 8] όσο και στις διαφορές τους στη δομή της επιδερμίδας τους και την ύπαρξη ή όχι κεριού [2].

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Οι απώλειες μάζας εκφρασμένες είτε ως ρυθμός απωλειών είτε ως πυκνότητα απωλειών των μήλων *Granny Smith* υπολείπονται σημαντικά αυτών των *Pilafa Delicious*. Προτείνονται για κάθε ποικιλία και συνθήκη συντήρησης συσχετίσεις του

ρυθμού και της πυκνότητας απώλειας μάζας με το χρόνο συντήρησης ώστε σε κάθε συνθήκη αποθήκευσης να είναι προβλέψιμες οι απώλειες μάζας.

Οι αναπτυχθείσες σχέσεις που συνδέουν τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά όπως τη διάμετρο, την επιφάνεια και τον όγκο των μήλων με τη μάζα είναι χρήσιμες για την εκτίμηση του ρυθμού αναπνοής, της πυκνότητας του καρπού και της πυκνότητας απώλειας μάζας. Πάντως τα γεωμετρικά μεγέθη που υπολογίζονται με βάση τη μέση μετρούμενη διάμετρο των μήλων, υποεκτιμώνται σε σύγκριση με τα πραγματικά και γι' αυτό πρέπει να προβαίνουμε σε διόρθωση με βάση την αντίστοιχη σχέση από την ογκομέτρηση.

Γνωρίζοντας τις απώλειες που οφείλονται στη φυσιολογική δραστηριότητα του μήλου και με βάση τις εκάστοτε συνθήκες συντήρησης (από καταγραφές) μπορούμε να προβλέψουμε τόσο τις επιμέρους, όσο και τις συνολικές απώλειες μάζας των αποθηκευμένων καρπών για οποιαδήποτε περίοδο συντήρησης.

5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Hatfield. S. G. S. and Knee. M. 1988. Effects of water loss on apples in storage. International Journal of Food Science. 23:575-583.
2. Λαμπρινός Γ. και Μανωλοπούλου Ε. 1995. Αφυδάτωση των μήλων κατά την συντήρηση με έμφαση στα μήλα Pilafa Delicious. Πρακτικά 5ου Πανελληνίου Συνεδρίου Επιστήμης και Τεχνολογίας Τροφίμων. Αθήνα. 322-328.
3. Mitropoulos. D.. Lambrinos. G. and Xanthopoulos. G. 2004. Moisture loss prediction of Delicious Pilafa apple during storage. Proceedings of the *AgEng 2004 Conference, Engineering the Future, Leuven-Belgium.* **2:**1110-1111.
4. Mitropoulos. D. and Lambrinos. G. 2000. Apple dehydration under warehouse conditions. In: F.Artés et al.(Eds) 'Improving postharvest technologies of fruits, vegetables and ornamentals'. Vol.I, IIR Edition. 187-193.
5. Μητρόπουλος. Δ. και Λαμπρινός. Γ. 2000. Αφυδάτωση μήλων ποικιλιών Pilafa Delicious και Granny Smith κατά την αποθήκευση. Πρακτικά 2ου Εθνικού Συνεδρίου Γεωργ. Μηχανικής. Βόλος. 433-440.
6. Tu. K. Nicolai. B. De. Baerdemaeker. J. 2000. Effects of relative humidity on apple quality under simulated shelf temperature storage. Scientia Horticulturae. 85:217-229.
7. Κανάκη Μ., Λαμπρινός Γ., Μητρόπουλος Δ. και Μανωλοπούλου Ε. 2003. Μεταβολή του ρυθμού και της θερμότητας αναπνοής με τη θερμοκρασία συντήρησης δύο ποικιλιών μήλων. Πρακτικά 3ου Πανελληνίου Συνεδρίου Γεωργικής Μηχανικής. Θεσσαλονίκη. 174–179.
8. D. Mitropoulos, H. Manolopoulou, Gr. Lambrinos, G. Xanthopoulos & E. Chatzis, 2007. Physiological activity mass loss estimation of two apple varieties. CIGR Section VI, 3rd International Symposium. "Food and Agricultural products: processing and innovations", Naples, Italy 24–26 September 2007.

(131)

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑΣ ΣΤΗΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑ «ΕΛΑΧΙΣΤΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΜΕΝΟΥ» ΜΑΡΟΥΛΙΟΥ .

Ε. Μανωλοπούλου[1], Ν. Καπετάνιος[1], Ν. Χαλασοχώρη[1], Γρ. Λαμπρινός[2]

[1]ΤΕΙ Καλαμάτας, Σχολή ΤΕ.Γ., Τμήμα Φ.Π., Αντικάλαμος, 24 100 Καλαμάτα, e–mail: e.manolopoulou@teikal.gr

[2]Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα ΑΦΠ & ΓΜ Ιερά Οδός 75, Τ.Κ 11 855, Τηλ. 210 529 4035, e–mail: refrigenergy@aua.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της εργασίας αυτής ήταν η μελέτη της επίδρασης της θερμοκρασίας και της συσκευασίας στα ποιοτικά χαρακτηριστικά «ελάχιστα επεξεργασμένου» μαρουλιού τύπου «*Romana*». Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι πλαστικές συσκευασίες μείωσαν αισθητά την απώλεια βάρους και διατήρησαν το χρώμα και την υφή. Το αέριο μίγμα 10% O_2–5% CO_2 διατήρησε και στις δύο μελετηθείσες θερμοκρασίες (0 °C, 5 °C) την ποιότητα του προϊόντος, παρουσιάζοντας τα μικρότερα ποσοστά καστανώσεων. Από τις δύο θερμοκρασίες αυτή των 0 °C κρίθηκε πιο αποτελεσματική στη διατήρηση της ποιότητας.

EFFECT OF TEMPERATURE AND PACKAGING ON QUALITY RETENTION OF FRESH–CUT LETTUCE

E. Manolopoulou[1], N. Kapetanios[1], N. Chalasochori[1], Gr. Lamprinos[2]

[1]Technological Educational Institute of Kalamata, Faculty of Agricultural Technology, Dep. of Crop Science, Antikalamos, 24 100 Kalamata, e–mail: e.manolopoulou@teikal.gr

[2]Agricultural University of Athens, Dep. of Natural Resources Development and Agricultural Engineering, 75 Iera Odos Str., Athens 11855 Tel. 210 529 4035, e–mail: refrigenergy@aua.gr

Aim of this work was to study the influence of storage temperature and packaging on the quality characteristics of minimally processed *Romana* lettuce. The conducted experiments revealed that packaging significantly reduced mass loss and retained produce colour and texture. The employed gases' mixture for the MAP was 10% O_2–5% CO_2 and achieved to retain in both studied storage temperatures (0 °C, 5 °C) produce's quality exhibiting the lowest percentages of browning. Based on the previous finding the lower temperature of 0 °C is suggested as the most efficient for retention of produce quality.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η αύξηση της κατανάλωσης των «ελάχιστα επεξεργασμένων» λαχανικών μπορεί να αποδοθεί αφενός μεν στην αυξανόμενη αντίληψη της ευεργετικής επίδρασης των φρέσκων προϊόντων στην υγεία του ανθρώπου, αφετέρου δε στην τάση των καταναλωτών να χρησιμοποιούν εύκολα προετοιμαζόμενα τρόφιμα [1].

Τα ελάχιστα επεξεργασμένα λαχανικά είναι ζωντανοί ιστοί και ως εκ τούτου αντιδρούν στη διαδικασία προετοιμασίας τους καθώς και στους μετά την ετοιμασία χειρισμούς και κυρίως στις συνθήκες συντήρησής τους.

Ο τεμαχισμός διεγείρει την αναπνευστική δραστηριότητα και την παραγωγή αιθυλενίου [2]. Ένας μεγάλος αριθμός ελάχιστα επεξεργασμένων φυτικών οργάνων παρουσιάζει σημαντική αύξηση του ρυθμού αναπνοής στις υψηλές θερμοκρασίες [3]. Η αύξηση του ρυθμού αναπνοής λόγω τεμαχισμού μπορεί να αποδοθεί στην εύκολη ανταλλαγή των αερίων λόγω έλλειψης επιδερμίδας. Τα «ελάχιστα επεξεργασμένα» φυτικά όργανα είναι επιρρεπή στην αναερόβια αναπνοή όταν μέσα στη συσκευασία υπάρχουν υψηλά ποσοστά CO_2 και χαμηλά O_2, η ευαισθησία τους όμως στην τροποποιημένη ατμόσφαιρα που δημιουργείται από τη συσκευασία είναι τελείως διαφορετική αυτής των ολόκληρων φυτικών οργάνων. Έτσι κομμένο μαρούλι είναι λιγότερο πιθανόν να παρουσιάσει αναερόβιο αναπνοή σε σύγκριση με τα ολόκληρα μαρούλια όταν εκτεθούν σε υψηλά ποσοστά CO_2 [4].

Η συσκευασία, τελευταίο στάδιο της προετοιμασίας των «ελάχιστα επεξεργασμένων» φυτικών οργάνων, παίζει σημαντικό ρόλο στην ποιότητα του προϊόντος, καθώς και στη διάρκεια συντήρησής του. Σκοπός της είναι η δημιουργία μιας άριστης αναλογίας αερίων (O_2, CO_2, N_2) ώστε η αναπνευστική δραστηριότητα του προϊόντος να είναι όσο το δυνατόν χαμηλή. Η επίτευξη του σκοπού αυτού είναι δύσκολη διότι υπάρχουν λίγα κατάλληλα πλαστικά φύλλα με την επιθυμητή περατότητα, το πρόβλημα δε γίνεται οξύτερο όταν το προϊόν έχει υψηλή αναπνευστική δραστηριότητα.

Ο έλεγχος τέλος της θερμοκρασίας είναι πολύ αποτελεσματικός στη διατήρηση της ποιότητας του «ελάχιστα επεξεργασμένου» φυτικού οργάνου. Η θερμοκρασία των 0 °C είναι ιδανική όμως μία διακύμανση 0.0–2.0 °C είναι αποδεκτή. Η διάρκεια συντήρησης μειώνεται αντιστρόφως ανάλογα με την αύξηση της θερμοκρασίας.

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι η μελέτη της επίδρασης της θερμοκρασίας συντήρησης καθώς και της τροποποιημένης ατμόσφαιρας (παθητικής ή ενεργητικής) στην ποιότητα και τη διάρκεια συντήρησης κομμένου μαρουλιού τύπου «*Romana*».

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Μαρούλια τύπου *Romana*, ποικιλίας *Paris Island*, συγκομίστηκαν στο στάδιο της εμπορικής ωριμότητας το Μάιο και τον Ιούνιο του 2006, στην περιοχή της Μεσσηνίας. Αμέσως μετά τη συγκομιδή μεταφέρθηκαν στο εργαστήριο όπου έγινε διαλογή ως προς το μέγεθος των κεφαλών. Χρησιμοποιήθηκαν μαρούλια που δεν παρουσίαζαν εξωτερικές βλάβες. Αφαιρέθηκαν τα εξωτερικά φύλλα και οι καρδιές τα δε υπόλοιπα φύλλα κόπηκαν με κοφτερό μαχαίρι σε μέγεθος 3 x 5 cm. Τα τεμάχια πλύθηκαν για δύο λεπτά με κρύο νερό βρύσης (5 °C) που περιείχε 100 ppm NaOCl, ξεβγάλθηκαν με κρύο νερό βρύσης (5 °C) για ένα λεπτό και στραγγίστηκαν με φυγοκέντριση.

Ποσότητα περίπου 120 g κομμένου έτοιμου προϊόντος τοποθετήθηκε σε σακούλες πολυαιθυλενίου και εφαρμόστηκαν οι εξής χειρισμοί:

1. Χειρισμός **ΣΑ**: σακούλες πολυαιθυλενίου χαμηλής πυκνότητας (PE–LD) πάχους 30 μm, γνωστής περατότητας, επιφάνειας 1025 cm^2. Έγχυση μίγματος αερίων 5% O_2–5% CO_2–90% N_2.

2. Χειρισμός **ΣΒ:** σακούλες πολυαιθυλενίου υψηλής πυκνότητας (PE–HD) πάχους 30 μm, πρακτικά αδιαπέρατες, επιφάνειας 1410 cm^2. Έγχυση μίγματος αερίων 10% O_2–5% CO_2–90% N_2.

3. Χειρισμός **ΣΓ**: σακούλες πολυαιθυλενίου χαμηλής πυκνότητας (PE–LD) πάχους 30 μm, γνωστής περατότητας, επιφάνειας 1025 cm^2. Η τροποποιημένη ατμόσφαιρα δημιουργήθηκε παθητικά.

4. Χειρισμός **Μάρτυρας**: Το δείγμα τοποθετήθηκε σε δισκάκια πολυστερίνης διαστάσεων 215 x 145 x 25 mm και καλύφθηκε με PVC (επιφάνεια 312 cm^2) στο οποίο έγιναν τρύπες για να μη δημιουργηθεί τροποποιημένη ατμόσφαιρα.

Οι συσκευασίες συντηρήθηκαν στους 0 °C και 5 °C (90 % RH) και στο σκοτάδι για 14 ημέρες. Ακολούθως τοποθετήθηκαν στους 20 °C για 12 h για να δημιουργηθούν οι συνθήκες που επικρατούν συνήθως κατά την εμπορία. Η θερμοκρασία των 0 °C είναι η ενδεδειγμένη θερμοκρασία συντήρησης ενώ οι 5 °C είναι η θερμοκρασία που συνήθως επικρατεί στο εμπόριο. Ετοιμάστηκαν έξι συσκευασίες για κάθε μέτρηση, χειρισμό και θερμοκρασία, επί πλέον δε, δέκα συσκευασίες ανά χειρισμό και θερμοκρασία για την παρακολούθηση της μεταβολής των αερίων και του βάρους.

Η ανάλυση των αερίων της εσωτερικής ατμόσφαιρας γινόταν καθημερινά καθόλη τη διάρκεια της συντήρησης. Η ανάλυση γινόταν με αναλυτή αερίων (Check Mate 9000, PBI Densensor Co Denmark) εισάγοντας τη βελόνα μέσα στη συσκευασία μέσω ειδικής υποδοχής (septum).

Για τη μέτρηση της αναπνευστικής δραστηριότητας, μία κεφαλή μαρουλιού (~180 g) και κομμένο μαρούλι (~100 g) τοποθετούνταν σε στεγανές αναπνευστικές αίθουσες (5,600 ml για το ολόκληρο και 960 ml για το κομμένο). Η μέτρηση του παραγόμενου CO_2 γινόταν με τη βοήθεια διάταξης Rikclos [5].

Ο υπολογισμός της απώλειας βάρους γινόταν με βάση το αρχικό βάρος, παρουσιάζεται δε ως απώλεια επί τοις %. Η ανάλυση της υφής γινόταν με το όργανο Texture Analyzer Tx–2i χρησιμοποιώντας Kramer shear cell σε 10 g κομμένου μαρουλιού. Η μετρούμενη αντίσταση εκφράσθηκε σε Newton.

Το χρώμα προσδιορίσθηκε με τη βοήθεια ενός χρωματομέτρου Minolta CR–300 στο σύστημα CIE L*, a*, b*. Το όργανο ρυθμίστηκε με μία λευκή πλάκα που είχε τα χαρακτηριστικά (Y=92.6 x=0.3135 y=0.3193). Οι χρωματικοί παράμετροι a* και b* μετατράπηκαν σε $C^*_{ab}=(a^{*2}+b^{*2})^{0.5}$ και $h^*_{ab}=\tan^{-1}(b^*/a^*)$ [6].

Τα τεμάχια του μαρουλιού των συσκευασιών διαλέχτηκαν βάσει της παρουσίας νεκρωτικών κηλίδων (δείκτης καστάνωσης). Τα τεμάχια με νεκρωτικές κηλίδες μεγαλύτερες από 0.5 cm^2 ζυγίστηκαν και έγινε αναγωγή τους στο συνολικό βάρος κάθε συσκευασίας. Ο προσδιορισμός γινόταν σε έξι συσκευασίες ανά χειρισμό και θερμοκρασία. Η μέθοδος αυτή προσδιορισμού των αποχρωματισμών είναι λιγότερο υποκειμενική συγκριτικά με τον προσδιορισμό της ποιότητας οργανοληπτικά [7]. Δείγματα με τιμή υψηλότερη από 3% συνήθως δεν είναι αποδεκτά από τον καταναλωτή.

Το συντηρημένο «ελαφρά τεμαχισμένο» μαρούλι αξιολογήθηκε από 6 άτομα (2 άνδρες και 4 γυναίκες) χρησιμοποιώντας τις παρακάτω παραμέτρους: Συνολική οπτική ποιότητα: με κλίμακα από 9 έως 1 όπου 9=εξαιρετική φρέσκια εμφάνιση, 7=καλή, 5= μέτρια, 3=υποφερτή (χρησιμοποιήσιμη αλλά όχι εμπορεύσιμη), 1=μη εμπορεύσιμη. Η τιμή 6 είναι το όριο της δυνατότητας εμπορίας (τέλος συντήρησης). Για την καστάνωση των τομών χρησιμοποιήθηκε μία κλίμακα από 1 έως 5 όπου: 1=χωρίς καστάνωση, 2=ελαφριά καστάνωση, 3=μέτρια καστάνωση (μόλις εμπορεύσιμο), 4=σοβαρή καστάνωση, 5=πολύ σοβαρή καστάνωση.

Η εκτίμηση της απώλειας βάρους, της υφής, του χρώματος και της ποιοτικής αξιολόγησης έγιναν την $0^η$, $4^η$, $7^η$, $11^η$ και $14^η$ ημέρα καθώς και στο τέλος του shelf–life, σε δέκα συσκευασίες ανά χειρισμό και θερμοκρασία στην περίπτωση της απώλειας βάρους και σε έξι συσκευασίες χωριστά για τις άλλες ποιοτικές αναλύσεις

Το πείραμα ήταν παραγοντικό με κύριους παράγοντες τη θερμοκρασία, τους χειρισμούς και τη διάρκεια συντήρησης. Τα πειραματικά δεδομένα αναλύθηκαν με ANOVA χρησιμοποιώντας το στατιστικό πακέτο Statgraphics Plus 5.1. Η σύγκριση των Μ.Ο έγινε με την ελάχιστη σημαντική διαφορά (LSD) σε επίπεδο σημαντικότητας p=0.05.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

3.1 Αναπνευστική δραστηριότητα κομμένου μαρουλιού

Η αναπνευστική δραστηριότητα (παραγωγή CO_2) του κομμένου μαρουλιού στους 0 °C δεν επηρεάστηκε από τη διαδικασία της προετοιμασίας και κυρίως από τον τεμαχισμό καθόλη τη διάρκεια της συντήρησης. Το κομμένο όμως μαρούλι που συντηρήθηκε στους 5 °C παρουσίασε στατιστικά υψηλότερη αναπνευστική δραστηριότητα συγκριτικά με το ολόκληρο στην ίδια θερμοκρασία .Το ποσοστό της μεταβολής κυμαίνεται γύρω στο 64%. Η έντονη αύξηση της αναπνευστικής δραστηριότητας την $10^{η}$ ημέρα μπορεί να αποδοθεί και σε ανάπτυξη μικροοργανισμών. Η αύξηση της αναπνευστικής δραστηριότητας του κομμένου μαρουλιού μπορεί να αποδοθεί στην αύξηση της επιφάνειας των ιστών. Πολλά «ελάχιστα τεμαχισμένα» φυτικά όργανα παρουσιάζουν αύξηση της αναπνευστικής τους δραστηριότητας η οποία είναι εντονότερη στις υψηλές θερμοκρασίες [3] γεγονός που συμφωνεί με τα αποτελέσματά μας.

3.2 Σύνθεση των αερίων στο εσωτερικό των συσκευασιών

Όσον αφορά τη μεταβολή του O_2, ο χειρισμός ΣΒ (πολυαιθυλένιο πρακτικά αδιαπέρατο) παρουσιάζει από τις πρώτες κιόλας ημέρες μία πτώση εντονότερη στους 5 °C, πιο αργή στους 0 °C. Έτσι στους 0 °C την $14^{η}$ ημέρα παρουσιάζει συγκέντρωση της τάξης του 1% ενώ στους 5 °C την $8^{η}$ ημέρα έχει πρακτικά μηδενισθεί.

Οι χειρισμοί ΣΑ και ΣΓ στους 0 °C την $7^{η}$ ημέρα παρουσιάζουν συγκέντρωση O_2 της τάξης του 13% και ο μεν χειρισμός ΣΓ τη διατηρεί περίπου σταθερή μέχρι το τέλος της συγκέντρωσης (14%), ο δε χειρισμός ΣΑ παρουσιάζει μία ελαφριά άνοδο, έτσι ώστε στο τέλος της συντήρησης η συγκέντρωση του O_2 να είναι της τάξης του 17%. Στους 5 °C οι χειρισμοί ΣΑ και ΣΓ την $7^{η}$ ημέρα παρουσιάζουν συγκέντρωση O_2 της τάξης του 13% και 11.6% αντίστοιχα την οποία και διατηρούν σταθερή μέχρι το τέλος της συντήρησης.

Όσον αφορά το CO_2 ο χειρισμός ΣΒ παρουσιάζει ανοδική τάση και στις δύο θερμοκρασίες (0 °C και 5 °C) και στο τέλος της συντήρησης στους 0 °C φθάνει στο 13% ενώ στους 5 °C στο 17%. Οι χειρισμοί ΣΑ και ΣΓ τόσο στους 0 °C όσο και στους 5 °C από τη $2^{η}$ κιόλας ημέρα ισορροπούν γύρω στο 2.0–2.5% CO_2 μέχρι το τέλος της συντήρησης.

Σύμφωνα με το Gorny (2001) [8], η ιδανική σύνθεση της ατμόσφαιρας για τη συντήρηση κομμένου μαρουλιού τύπου *Romana* είναι 0.5–3.0% O_2 και 5–10% CO_2. Η σύνθεση αυτή μειώνει το ποσοστό των καστανώσεων στις τομές και αυξάνει το χρόνο συντήρησης.

Η ευαισθησία του κομμένου μαρουλιού στη χαμηλή συγκέντρωση O_2 και την υψηλή CO_2 είναι τελείως διαφορετική συγκριτικά με το ολόκληρο μαρούλι. Έτσι ο μεταβολισμός του μαρουλιού μπορεί να διατηρηθεί αερόβιος ακόμα και σε συγκέντρωση O_2 μικρότερη από 1% [7]. Η συνεχιζόμενη αύξηση της συγκέντρωσης του CO_2 στην περίπτωση του χειρισμού ΣΒ τόσο στους 0 °C όσο και στους 5 °C μπορεί να αποδοθεί σε μία βαθμιαία αλλαγή του μεταβολισμού από αερόβιο σε αναερόβιο. Η εμφάνιση καστανών κηλίδων στα φύλλα επηρεάζεται από τη συγκέντρωση του CO_2 στις συσκευασίες. Υπάρχει γραμμική συσχέτιση μεταξύ συγκέντρωσης CO_2 και συνολικής αξιολόγησης του προϊόντος καθώς και εμφάνισης καστανώσεων που εμφανίζονται σε

συγκεντρώσεις CO_2 γύρω στο 10%. Οι συντελεστές συσχέτισης μεταξύ συγκέντρωσης CO_2 και συνολικής αξιολόγησης του προϊόντος στους 0 °C είναι R^2=0.70, στους 5 °C R^2=0.73, ενώ μεταξύ συγκέντρωσης CO_2 και καστανώσεων στους 0 °C είναι R^2=0.78 και στους 5 °C R^2=0.79. Οι τιμές αυτές δείχνουν μία σχετικά στενή σχέση μεταξύ της περιεκτικότητας CO_2 και εμφάνισης του κομμένου μαρουλιού.

3.3 Απώλεια βάρους

Η απώλεια υγρασίας στα λαχανικά επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες, ο πιο σημαντικός των οποίων είναι η αντίσταση της επιδερμίδας ή της εφυμενίδας στην κίνηση του νερού [9]. Ο τεμαχισμός αυξάνει την ελεύθερη επιφάνεια των ιστών και αυξάνει τη διαπνοή. Η συσκευασία όμως σε πλαστικές συσκευασίες εξασφαλίζει υψηλή σχετική υγρασία και έτσι μειώνεται αισθητά η απώλεια βάρους.

Στην εργασία αυτή το κομμένο μαρούλι μετά από 14 ημέρες στους 0 °C παρουσίασε απώλεια βάρους μικρότερη από 1% στην περίπτωση των χειρισμών ΣΑ, ΣΒ, ΣΓ και 3% στην περίπτωση του μάρτυρα. Μετά από 12 h στους 20 °C η απώλεια βάρους των ΣΑ, ΣΒ, ΣΓ ανήλθε περίπου στο 1% ενώ του μάρτυρα στο 4%. Στους 5 °C οι χειρισμοί ΣΑ και ΣΓ παρουσίασαν απώλεια βάρους ≅ 0.9%, ο ΣΒ 0.6% και ο μάρτυρας 6%. Μετά από 12 h στους 20 °C οι χειρισμοί ΣΑ και ΣΓ παρουσίασαν απώλεια της τάξης του 1.2 %, ο ΣΒ 1% και ο μάρτυρας 6.8%.

Σύμφωνα με τον Burton (1982)[10] η μέγιστη επιτρεπτή απώλεια υγρασίας για το ολόκληρο μαρούλι είναι 5%.

3.4 Υφή

Η υφή στους 0 °C παρέμεινε στα αρχικά της επίπεδα χωρίς σημαντικές διαφορές μεταξύ των τεσσάρων χειρισμών. Στους 5 °C μετά την 7η ημέρα ο μάρτυρας και ο χειρισμός ΣΑ παρουσίασαν υψηλότερη τιμή η οποία όμως στο τέλος της συντήρησης δεν διέφερε στατιστικά από αυτές των άλλων χειρισμών. Σε όλες τις περιπτώσεις στο τέλος της συντήρησης παρατηρήθηκε ελαφρά μείωση της υφής.

3.5 Χρώμα

Πίνακας 1. Μεταβολή του L*, του a*, του κορεσμού (C^*_{ab}) και της χροιάς (h^*_{ab}) του κομμένου μαρουλιού

Χρωματική Παράμετρος και Θερμοκρασία	Αρχ. τιμές	ΣΑ		ΣΒ		ΣΓ		Μάρτυρας	
		14η ημ	SL	14η ημ	SL	14η ημ	SL	14η ημ	SL
L*									
0 °C	42.97	47.14	49.38	48.57	49.97	46.43	47.02	46.82	50.57
5 °C	42.97	49.55	52.17	48.40	49.23	47.05	45.72	51.53	52.84
a*									
0 °C	-16.25	-15.88	-16.98	-16.08	-16.74	-15.34	-15.81	-16.21	-17.03
5 °C	-16.25	-15.97	-16.25	-16.29	-15.86	-14.78	-15.69	-15.10	-16.37
C^*_{ab}									
0 °C	32.71	33.05	35.40	32.61	35.30	32.43	33.89	33.21	35.55
5 °C	32.71	35.43	37.55	33.12	34.21	32.22	33.46	35.66	37.54
h^*_{ab}									
0 °C	119.76	118.84	118.73	119.61	118.40	116.63	115.99	119.26	118.65
5 °C	119.76	118.91	115.75	119.5	117.60	115.41	117.70	117.33	115.90

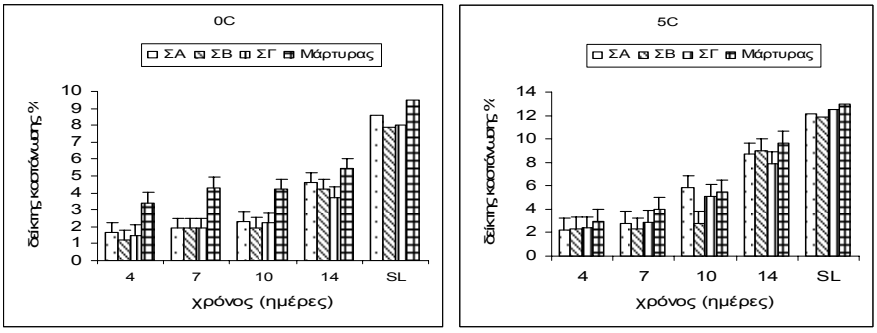
LSD=0 °C : L*=4.36 a*=0.165 C^*_{ab}=0.289 h^*_{ab}=0.19

5 °C: L*=3.27 a*=0.24 C^*_{ab}=0.32 h^*_{ab}=0.511

Από τον πίνακα προκύπτει ότι: η φωτεινότητα (L*) του κομμένου μαρουλιού δεν άλλαξε ουσιαστικά καθ' όλη τη διάρκεια της συντήρησης στους 0 °C ενώ στους 5 °C παρουσιάζει μία ελαφριά αύξηση. Η χρωματική παράμετρος a* παρουσιάζει πάντα αρνητικές τιμές πολύ κοντά στις αρχικές και στις δύο θερμοκρασίες γεγονός που αποδεικνύει ότι διατηρήθηκε το πράσινο χρώμα των τεμαχίων. Οι τιμές του C^*_{ab} διατηρήθηκαν στα αρχικά επίπεδα, ενώ οι τιμές τέλος του h^*_{ab} διατηρήθηκαν πολύ κοντά στα αρχικά επίπεδα, γεγονός που μαρτυρά ότι σε όλες τις περιπτώσεις διατηρήθηκε το έντονο πράσινο χρώμα. Θα πρέπει να επισημανθεί ότι η θερμοκρασία των 0 °C διατήρησε καλλίτερα το χρώμα των κομμένων φύλλων.

3.6 Δείκτης καστάνωσης

Η μεταβολή του δείκτη καστάνωσης συναρτήσει του χρόνου συντήρησης στις διάφορες συσκευασίες, στη θερμοκρασία των 0 °C και 5 °C παρουσιάζεται στο σχήμα 3. Αν θέσουμε σαν όριο εμπορευσιμότητας το 3% μπορούμε να συμπεράνουμε τα εξής: στους 0 °C οι χειρισμοί ΣΑ, ΣΒ & ΣΓ διατήρησαν το κομμένο μαρούλι εμπορεύσιμο μέχρι και τη 10η ημέρα, ενώ στους 5 °C την 7η ημέρα ήταν εμπορεύσιμο μόνο το προϊόν της συσκευασίας ΣΒ



Σχήμα 3. Μεταβολή του δείκτη καστάνωσης (επί % φρέσκου βάρους) «ελαφρά τεμαχισμένου μαρουλιού» συντηρουμένου στους 0 °C και 5 °C, σε τροποποιημένη ατμόσφαιρα, συναρτήσει του χρόνου συντήρησης (N=12).

Ο δείκτης καστάνωσης εκφράζεται ως γραμμική συνάρτηση του χρόνου συντήρησης με συντελεστή συσχέτισης R^2=0,92 στους 0 °C και R^2=0,95 στους 5 °C. Συγκρίνοντας το δείκτη καστάνωσης (τρόπος εκτίμησης λιγότερο υποκειμενικός) με την υποκειμενική αξιολόγηση του προϊόντος προέκυψε ότι υπάρχει γραμμική συνάρτηση του δείκτη καστάνωσης και της συνολικής εκτίμησης (R^2=0,865 στους 0 °C, R^2=0,967 στους 5 °C).

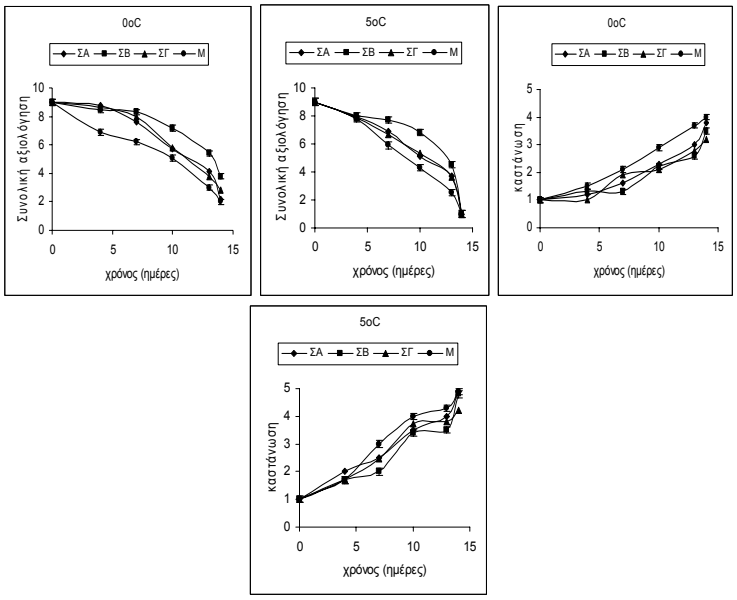
3.7 Ποιοτική αξιολόγηση

Ο χειρισμός ΣΒ διατήρησε καλλίτερα τη συνολική εμφάνιση του προϊόντος τόσο στους 0 °C όσο και στους 5 °C. Την 10η ημέρα το κομμένο μαρούλι του χειρισμού ΣΒ παρουσίασε τιμές υψηλότερες της οριακής τιμής εμπορίας ενώ οι άλλοι χειρισμοί εμπορικά δεν ήταν αποδεκτοί (οριακή τιμή 6) (σχήμα 4).

Οι χειρισμοί ΣΑ και ΣΓ δεν παρουσίασαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ τους γεγονός που σημαίνει ότι δεν υπήρξε διαφορά μεταξύ ενεργούς και παθητικής τροποποιημένης ατμόσφαιρας στην προκειμένη περίπτωση.

Στους 0 °C την 7η ημέρα ο μάρτυρας είχε οριακή τιμή, ενώ οι χειρισμοί ΣΑ, ΣΒ και ΣΓ παρουσίασαν τιμές πολύ κοντά στην αρχική. Στους 5 °C η ποιότητα του μαρουλιού παρουσίασε πτώση και μετά την 7η ημέρα μόνο ο χειρισμός ΣΒ ήταν εμπορεύσιμος.

Όσον αφορά την καστάνωση στους 0 °C ο μάρτυρας την 10η ημέρα είχε οριακή τιμή εμπορίας ενώ οι άλλοι χειρισμοί (ΣΑ, ΣΒ, ΣΓ) ήταν εμπορεύσιμοι μέχρι και την 14η ημέρα. Στους 5 °C την 7η ημέρα ο μάρτυρας είχε οριακή τιμή ενώ την 10η ημέρα όλοι οι χειρισμοί ήταν ακατάλληλοι για εμπορία.



Σχήμα 4. Μεταβολή της συνολικής εκτίμησης και της καστάνωσης κομμένου μαρουλιού τύπου *Romana* που συντηρήθηκε στους 0 °C και 5 °C σε τροποποιημένη ατμόσφαιρα. Κάθε σημείο αποτελεί το Μ.Ο 6 δειγμάτων x 6 κριτές x 2 επαναλήψεις (N=72)

Η καστάνωση των φύλλων και των τομών είναι ένας περιοριστικός παράγοντας εμπορίας των «ελάχιστα επεξεργασμένων προϊόντων» που επηρεάζεται από τη συσκευασία (αέριο μίγμα), τη θερμοκρασία και το χρόνο συντήρησης. Η καστάνωση επηρεάζει τις τιμές της χρωματικής παραμέτρου a* καθώς και του h_{ab}*. Υπάρχει μία γραμμική συσχέτιση αφενός μεν μεταξύ υποκειμενικής αξιολόγησης της καστάνωσης και παραμέτρου a* (R^2=0.867) αφετέρου δε μεταξύ υποκειμενικής αξιολόγησης για την καστάνωση και του h_{ab}* (R^2 =0.865)

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η αναπνευστική δραστηριότητα του κομμένου μαρουλιού τύπου *Romana* στους 0 °C δεν διαφέρει αυτής του ολόκληρου, στους 5 °C όμως είναι στατιστικά υψηλότερη. Η εσωτερική ατμόσφαιρα των συσκευασιών αφενός μεν λόγω αναπνοής αφετέρου δε λόγω περατότητας των μεμβρανών συσκευασίας, διαμορφώθηκε σε επίπεδα πολύ χαμηλού O_2 1% ή 0.1% και υψηλού CO_2 13% ή 17% (χειρισμός ΣΒ) ανάλογα με τη θερμοκρασία, ή σε επίπεδα σχετικά υψηλού O_2 14% ή 16% και χαμηλού CO_2 1–2 % (χειρισμοί ΣΑ, ΣΓ). Οι δείκτες ποιότητας του κομμένου μαρουλιού διατηρήθηκαν καλλίτερα στην περίπτωση του χειρισμού ΣΒ (μίγμα πολύ φτωχό σε O_2 και πλούσιο σε CO_2), από δε τις μελετηθείσες θερμοκρασίες οι 0 °C διατήρησαν καλλίτερα και για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα την ποιότητα του μαρουλιού.

Από τη μελέτη αυτή προκύπτει ότι μία ατμόσφαιρα φτωχή σε O_2 (κάτω από 1%) και μετρίως πλούσια σε CO_2 (10–15%) στη θερμοκρασία των 0 °C επιτρέπει την εμπορία του κομμένου μαρουλιού για ένα διάστημα 10 ημερών.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η εργασία αυτή πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο το προγράμματος «*Αρχιμήδης*» που συγχρηματοδοτήθηκε από την ΕΕ (ΕΚΤ) και Εθνικούς Πόρους (ΕΠΕΑΕΚ ΙΙ).

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Stella M. Alzamora, Aurelia Lopez–Malo and Maria S. Tapia. 2000. *Minimally processed fruits and vegetables*. Aspen Publication, Gaithersburg, Maryland.
2. Brecht, J.K. 1995. Physiology of lightly processed fruits and vegetables. *HortScience* (30):18–22
3. Watada, A.E, Ko, N.P and Minott, D.A. 1996. Factors affecting quality of fresh–cut horticultural products. *Postharvest Biol. Technol*. (9): 115–125.
4. Mateos, M., Ke, D., Cantwell, M. and Kader, A.A. 1993. Phenolic metabolism and ethanolic fermentation of intact and cut lettuce exposed to CO_2 enriched atmospheres. *Postharvest Biol. Technol*. (3): 225–233.
5. Μητρόπουλος, Δ., Κοζής, Γ., Μανωλοπούλου, Ε., Λαμπρινός, Γ. 2000. Εκτίμηση του χρόνου συλλογής με μέτρηση αναπνοής στον αγρό. *Πρακτικά 2ου Εθνικού Συνεδρίου Γεωργ. Μηχανικής,* 425–432.
6. Clydescale,F.M 1984. Color measurements. In: Food *Analysis principles and Techniques*, *Vol.1.D.W. Gruenwedwi and J.R. Whitaker*. ed. Marcel Dekker, N. York and Basel, 95-150.
7. Varoquaux, P., Mazollier, J., Albagnac, G. 1996. The influence of raw material characteristics on the storage life of fresh–cut butterhead lettuce. *Postharvest Biol. Technol*. (9): 127–139.
8. Gorny, R.J. 2001. *A summary of C.A and M.A recommendation for selected fresh–cut fruits and vegetables. In: Optimal C.A for Horticultural perishables.* U.C Davis Postharvest Horticultural Series, No 22A: 104–139
9. Ben–Yehoshua, S. 1987. Transpiration water stress and gas exchange. In: *Postharvest Physiology of vegetables,* ed. J. Weichmann, Marcel Dekker, Inc, N.York, 113–170.
10. Burton, W.G. 1982. *Postharvest Physiology of Food Crops*, Longman Publishing, Co, London and New York.

(132)

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑΣ ΣΤΑ ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ «ΕΛΑΧΙΣΤΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΜΕΝΗΣ ΠΙΠΕΡΙΑΣ»

Ε. Μανωλοπούλου[1], Θ. Σαμαράς[1], Ν. Χαλασοχώρη[1], Γρ. Λαμπρινός[2]
[1]ΤΕΙ Καλαμάτας, Σχολή ΤΕ.Γ., Τμήμα Φ.Π., Αντικάλαμος, 24 100 Καλαμάτα, e–mail: e.manolopoulou@teikal.gr
[2]Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Α.Φ.Π. & Γ.Μ. Ιερά Οδός 75, Τ.Κ 118 55, Τηλ. 210 5294035, e–mail: refrigenergy@aua.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της εργασίας αυτής ήταν η μελέτη της επίδρασης της τροποποιημένης ατμόσφαιρας (MAP) στα ποιοτικά χαρακτηριστικά κομμένης πράσινης πιπεριάς που συντηρήθηκε στους 0 °C και 5 °C. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η MAP διατήρησε το χρώμα, την υφή και τη θρεπτική αξία του προϊόντος στα αρχικά επίπεδα. Τα μίγματα 5% O_2–10% CO_2 και 5% O_2–15% CO_2 διατήρησαν καλλίτερα τη συνολική εμφάνιση του προϊόντος και στις δύο θερμοκρασίες μειώνοντας αισθητά τον αποχρωματισμό της τομής. Από τις δύο θερμοκρασίες οι 0° C αποδείχθηκαν πιο αποτελεσματικοί στη διατήρηση της οργανοληπτικής ποιότητας του προϊόντος.

INFLUENCE OF PACKAGING ON THE QUALITY OF MINIMALLY PROCESSED GREEN BELL PEPPER

E. Manolopoulou[1], Th. Samaras[1], N. Chalasochori[1], Gr. Lamprinos[2]
[1]Technological Educational Institute of Kalamata, Faculty of Agricultural Technology, Dep. of Crop Science, Antikalamos, 24 100 Kalamata, e–mail: e.manolopoulou@teikal.gr
[2]Agricultural University of Athens, Dep. of Natural Resources Development and Agricultural Engineering, 75 Iera Odos Str., Athens 11855 Tel. 210 529 4035, e–mail: refrigenergy@aua.gr

ABSTRACT

In this work the influence of modified atmosphere packaging on the quality characteristics of fresh–cut green bell pepper stored at 0 °C and 5 °C was studied. The experimental results revealed that MAP managed to retain the colour, texture and nutritional value of the produce close to the initial ones. The employed gas mixtures of 5% O_2–10% CO_2 and 5% O_2–15% CO_2 retained the overall produce appearance in both storage temperatures reducing considerably the discoloration of the cut area. From the two tested storage temperatures, 0 °C proved to be more efficient, retaining the organoleptic quality of the produce.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα «ελαφρώς επεξεργασμένα φρούτα και λαχανικά» είναι προϊόντα τα οποία διατηρούν τα χαρακτηριστικά τους και ποιοτικά θεωρούνται όμοια με τα φρέσκα. Έχουν υποστεί ελαφρά επεξεργασία (πλύσιμο, κόψιμο) είναι 100% χρησιμοποιήσιμα, έχουν υψηλή θρεπτική αξία, διατηρούν το άρωμα και τη φρεσκάδα τους και είναι εύκολα στη χρήση τους.

Η τροποποιημένη ατμόσφαιρα που δημιουργείται από τη συσκευασία (MAP) χρησιμοποιείται ευρέως στην κατηγορία των προϊόντων αυτών, για την αύξηση του χρόνου συντήρησης, λόγω περιορισμού της απώλειας υγρασίας, της αναπνευστικής δραστηριότητας, της καστάνωσης των τομών, της βιοσύνθεσης και δράσης του αιθυλενίου και τέλος της ανάπτυξης των μικροοργανισμών.

Η πιπεριά είναι ένα ευρέως χρησιμοποιούμενο λαχανικό λόγω της μοναδικής της γεύσης, του έντονου χρώματος της και της υψηλής περιεκτικότητάς της σε βιταμίνη C. Είναι ευαίσθητη στις χαμηλές θερμοκρασίες και δε συντηρείται για μεγάλο χρονικό διάστημα. Η «ελάχιστα επεξεργασμένη πράσινη πιπεριά» κομμένη σε δαχτυλίδια ή κομμάτια πρέπει να διατηρεί τη φρεσκάδα και τη διατροφική της αξία, ο δε χρόνος της εμπορικής της ζωής πρέπει να είναι επαρκής ώστε να ικανοποιεί τις ανάγκες της βιομηχανίας και του καταναλωτή.

Η διαδικασία προετοιμασίας (πλύσιμο, απομάκρυνση σπόρων, κόψιμο) καταστρέφει ιστούς και καθιστά το προϊόν πιο ευαίσθητο σε σύγκριση με ολόκληρο τον καρπό [1], για το λόγο αυτό θα πρέπει να συντηρηθεί σε χαμηλότερη θερμοκρασία συγκριτικά με αυτόν, ώστε να προστατευθεί το έτοιμο προϊόν από τη γρήγορη υποβάθμιση (ποιοτική και θρεπτική). Η θερμοκρασία συντήρησης της ολόκληρης πράσινης πιπεριάς είναι οι 8 °C ενώ της κομμένης 0–5 °C [2].

Υπάρχουν αρκετές εργασίες σχετικά με τη συμπεριφορά της ολόκληρης πράσινης πιπεριάς στην ελεγχόμενη ή τροποποιημένη ατμόσφαιρα [3] λίγες όμως σχετικά με την επίδραση της τροποποιημένης ατμόσφαιρας στα ποιοτικά χαρακτηριστικά και στο χρόνο συντήρησης της «ελάχιστα επεξεργασμένης» πράσινης πιπεριάς.

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι: α) η μελέτη της επίδρασης της τομής στην αναπνευστική δραστηριότητα της πράσινης πιπεριάς, β) η επίδραση της τροποποιημένης ατμόσφαιρας και της θερμοκρασίας στα ποιοτικά χαρακτηριστικά (αφυδάτωση, χρώμα, υφή, περιεκτικότητα σε ολικά διαλυτά στερεά συστατικά, βιταμίνη C, οργανοληπτικά χαρακτηριστικά) κομμένης πράσινης πιπεριάς.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Πιπεριές πράσινες, ποικιλίας Twingo F1 συγκομίστηκαν στο στάδιο της «εμπορικής ωριμότητας» στη Μεσσηνία, τον Ιούνιο, Ιούλιο και Αύγουστο του 2005. Μετά τη συγκομιδή μεταφέρθηκαν στο εργαστήριο "Μετασυλλεκτικών – Μετασυγκομιστικών Χειρισμών" του ΤΕΙ Καλαμάτας και προετοιμάσθηκαν την ίδια ημέρα.

Έγινε διαλογή ως προς το μέγεθος και απομακρύνθηκαν οι ελαττωματικές πιπεριές. Στη συνέχεια απομακρύνθηκε το εσωτερικό της πιπεριάς και οι πιπεριές κόπηκαν με κοφτερό μαχαίρι σε δαχτυλίδια πάχους 0.5 cm. Ακολούθησε πλύσιμο με κρύο νερό (5 °C) που περιείχε 100 ppm NaOCl και στη συνέχεια ξέβγαλμα με κρύο νερό (5 °C) βρύσης. Τα δαχτυλίδια της πιπεριάς σκουπίστηκαν με χαρτί κουζίνας και συσκευάστηκαν.

Ποσότητα περίπου 100 g κομμένης πιπεριάς τοποθετήθηκε σε σακούλες πολυαιθυλενίου υψηλής πυκνότητας (PE–HD) πρακτικά αδιαπέρατες. Οι συσκευασίες είχαν επιφάνεια 1200 cm^2. Η τροποποιημένη ατμόσφαιρα δημιουργήθηκε ενεργά με

έγχυση αερίων μιγμάτων επιθυμητής σύνθεσης με τη βοήθεια κλειστικής μηχανής κενού Multivac A300/16. Οι χειρισμοί που εφαρμόσθηκαν ήταν οι εξής:

Χειρισμός **ΣΑ**: έγχυση μίγματος 5% O_2–10% CO_2

Χειρισμός **ΣΒ**: έγχυση μίγματος 5% O_2–15% CO_2

Χειρισμός **ΣΓ**: αέρας, η συσκευασία έφερε τρύπα 3 mm

Χειρισμός **Μάρτυρας**: Το δείγμα τοποθετήθηκε σε δισκάκια πολυστερίνης διαστάσεων 120 x 215 x 15 mm και καλύφθηκε με PVC (επιφάνεια 258 cm^2) στο οποίο έγιναν τρύπες για να μη δημιουργηθεί τροποποιημένη ατμόσφαιρα.

Οι συσκευασίες συντηρήθηκαν στους 0 °C και 5 °C και σχετική υγρασία 90% στο σκοτάδι για 14 ημέρες (μέγιστη διάρκεια συντήρησης). Ετοιμάστηκαν έξι συσκευασίες για κάθε ημέρα μέτρησης ανά χειρισμό και θερμοκρασία και επί πλέον δέκα συσκευασίες ανά χειρισμό και θερμοκρασία για την ανάλυση των αερίων και την απώλεια βάρους.

Η ανάλυση των αερίων της εσωτερικής ατμόσφαιρας γινότανε καθημερινά καθ' όλη τη διάρκεια της συντήρησης. Δέκα συσκευασίες ανά χειρισμό και θερμοκρασία αναλύθηκαν χωριστά. Η ανάλυση γινότανε με ένα αναλυτή αερίων Check Mate 9000, (PBI Dsnsensor Co Denmark) εισάγοντας τη βελόνα δειγματοληψίας μέσα στη συσκευασία μέσω ειδικά προετοιμασμένης θέσης (septum).

Για τη μέτρηση της αναπνευστικής δραστηριότητας, ολόκληρες πιπεριές (≈120 g) και κομμένες (≈ 200g) τοποθετήθηκαν σε στεγανές αναπνευστικές αίθουσες (670 ml για την ολόκληρη και 1100 ml για την κομμένη). Η παραγωγή του CO_2 μετρήθηκε με τη βοήθεια της διάταξης Rikclos [4].

Ο υπολογισμός της απώλειας βάρους γινότανε με βάση το αρχικό βάρος, παρουσιάζεται δε σαν απώλεια επί τοις %. Η υφή προσδιοριζόταν με το όργανο Texture Analyzer Tx–2i χρησιμοποιώντας Kramer shear cell σε 10 g κομμένης πιπεριάς. Η αντίσταση εκφράσθηκε σε Newton.

Το χρώμα προσδιορίσθηκε με τη βοήθεια ενός χρωματόμετρου Minolta CR–300 στο σύστημα CIE L*, a*, b*. Το όργανο ρυθμίστηκε με μία λευκή πλάκα που είχε τα χαρακτηριστικά Y=92.6 x=0.3135 y=0.3193 .Οι χρωματικοί παράμετροι a* και b* μετατράπηκαν σε $C^*_{ab} = (a^{*2} + b^{*2})^{½}$ και $h^*_{ab} = \tan^{-1}(b^*/a^*)$ [5].

Η περιεκτικότητα των ιστών σε ασκορβικό οξύ προσδιορίστηκε στην αρχή της συντήρησης (ημέρα $0^η$) και στο τέλος της συντήρησης (ημέρα $14^η$). Ο προσδιορισμός έγινε ογκομετρικά με δείκτη 2, 6 διχλωροφαινολ–ινδοφαινόλης. Η περιεκτικότητα σε ασκορβικό οξύ εκφράσθηκε σε mg ανά 100g βάρους.

Τα ολικά διαλυτά στερεά συστατικά (brix) προσδιορίσθηκαν στην αρχή και στο τέλος της συντήρησης ($14^η$ ημέρα) με τη βοήθεια ψηφιακού οργάνου SR 400 (περιοχή μέτρησης 0–40 %) με διακριτική ικανότητα 0.1 Brix, ακρίβεια ±0.2% και αυτόματη διόρθωση στους 20 °C.

Η συντηρημένη «ελαφρώς επεξεργασμένη» πράσινη πιπεριά αξιολογήθηκε από 6 άτομα (2 άνδρες και 4 γυναίκες) χρησιμοποιώντας τις παρακάτω παραμέτρους: Για τη συνολική οπτική ποιότητα χρησιμοποιήθηκε μία κλίμακα από το 9 έως το 1 όπου 9=εξαιρετική φρέσκια εμφάνιση, 7=καλή, 5=μέτρια, 3=υποφερτή (χρησιμοποιήσιμη αλλά όχι εμπορεύσιμη), 1=μη εμπορεύσιμη. Η τιμή 6 είναι το όριο της δυνατότητας εμπορίας (τέλος συντήρησης). Για την αφυδάτωση των τομών χρησιμοποιήθηκε μία κλίμακα από το 1 έως το 5 όπου: 1=χωρίς αφυδάτωση, 2=ελαφριά, 3=μέτρια (μόλις εμπορεύσιμη), 4=σοβαρή, 5=πολύ σοβαρή.

Η εκτίμηση της απώλειας βάρους, της υφής, του χρώματος και της ποιοτικής αξιολόγησης έγιναν την $0^η$, $4^η$, $7^η$, $11^η$ και $14^η$ ημέρα, σε δέκα συσκευασίες ανά χειρισμό και θερμοκρασία στην περίπτωση της μέτρησης απώλειας βάρους και σε έξι συσκευασίες χωριστά για τις άλλες περιπτώσεις.

Το πείραμα ήταν παραγοντικό με κύριους παράγοντες τη θερμοκρασία, τους χειρισμούς και τη διάρκεια συντήρησης. Τα πειραματικά δεδομένα αναλύθηκαν με ANOVA χρησιμοποιώντας το στατιστικό πακέτο Statgraphics Plus 5.1. Η σύγκριση των Μ.Ο έγινε με την ελάχιστη σημαντική διαφορά (LSD) σε επίπεδο σημαντικότητας p=0.05.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

3.1 Αναπνευστική δραστηριότητα κομμένης πράσινης πιπεριάς

Ο ρυθμός της αναπνευστικής δραστηριότητας (εκπομπή CO_2) της κομμένης σε δαχτυλίδια πράσινης πιπεριάς στους 0 °C δεν επηρεάστηκε σημαντικά από τον τεμαχισμό. Κατά τη διάρκεια των δέκα πρώτων ημερών δεν παρατηρείται στατιστικά σημαντική διαφορά (p=0.05) μεταξύ ολόκληρης και κομμένης πιπεριάς και μόνο μετά τη δέκατη ημέρα παρατηρείται σημαντική αύξηση της αναπνευστικής δραστηριότητας της κομμένης πιπεριάς πιθανώς λόγω ανάπτυξης παθογόνων μικροοργανισμών.

Στους 5 °C η αναπνευστική δραστηριότητα της κομμένης πράσινης πιπεριάς παρουσιάζει στατιστικά σημαντική διαφορά συγκριτικά με την ολόκληρη. Ο τραυματισμός προκαλεί αύξηση της αναπνευστικής δραστηριότητας των ιστών η οποία μπορεί να αποδοθεί στην ενίσχυση της αερόβιας αναπνοής των μιτοχονδρίων. Ο τραυματισμός προκαλεί αλλαγές στη δομή των μιτοχονδρίων και αυξάνει τη δράση τους [6].

3.2 Σύνθεση αερίων στο εσωτερικό των συσκευασιών

Όσον αφορά τη σύνθεση των αερίων στο εσωτερικό των συσκευασιών, υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά (p=0.05) μεταξύ των χειρισμών τόσο στη συγκέντρωση του O_2 όσο και του CO_2 και στις δύο θερμοκρασίες (σχήμα 1). Η περιεκτικότητα του O_2 στους χειρισμούς ΣΑ και ΣΒ τόσο στους 0 °C όσο και στους 5 °C παρουσιάζει πτώση για να καταλήξει στους 0 °C, στο 0.5% ενώ στους 5 °C στο 0.0%.

Ο χειρισμός ΣΓ τόσο στους 0 °C όσο και στους 5 °C παρουσίασε υψηλή περιεκτικότητα O_2 της τάξης του 18% στους 0 °C και 15% στους 5 °C. Η συσκευασία με PVC διατήρησε το O_2 στα επίπεδα της ατμόσφαιρας. Τόσο στους 0 °C όσο και στους 5 °C δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των χειρισμών ΣΑ και ΣΒ αλλά και οι δύο χειρισμοί παρουσιάζουν στατιστικά σημαντική διαφορά στην περιεκτικότητα O_2 από το χειρισμό ΣΓ. Όσον αφορά τη συγκέντρωση του CO_2 τόσο στους 0 °C όσο και στους 5 °C παρατηρείται διαφορά (p=0.05) μεταξύ των τριών χειρισμών ΣΑ, ΣΒ και ΣΓ. Στους 0 °C ο χειρισμός ΣΑ παρουσίασε μία συγκέντρωση της τάξης του 12% την $6^{η}$ ημέρα, η οποία και διατηρήθηκε μέχρι το τέλος της συντήρησης, ενώ ο χειρισμός ΣΒ την ίδια ημέρα παρουσίασε συγκέντρωση 16.5% η οποία στο τέλος της συντήρησης έφθασε στο 15.5%. Στους 5 °C ο χειρισμός ΣΑ την $6^{η}$ ημέρα παρουσίασε μία συγκέντρωση της τάξης του 14% και η οποία στο τέλος της συντήρησης έφθασε το 17%, ενώ ο χειρισμός ΣΒ την $7^{η}$ ημέρα παρουσίασε συγκέντρωση CO_2 19% η οποία στο τέλος της συντήρησης έφθασε στο 20%.

Όσον αφορά το χειρισμό ΣΓ στους 0 °C παρουσίασε συγκέντρωση CO_2 της τάξης του 3%, ενώ στους 5°C παρουσίασε συγκέντρωση της τάξης του 7,5%. Σύμφωνα με τον Gorny (2001) [2] η ιδανική σύνθεση της ατμόσφαιρας για τη συντήρηση της κομμένης πράσινης πιπεριάς είναι 3% O_2 και 5–10% CO_2.

Υψηλότερη συγκέντρωση CO_2 μπορεί να προκαλέσει βλάβες (καστάνωση, μαλάκωμα ιστών), όμως η ευαισθησία στις βλάβες επηρεάζεται πολύ από την ποικιλία. Χαμηλές συγκεντρώσεις O_2 και υψηλές CO_2 μπορεί να προκαλέσουν αναερόβια αναπνοή. Η χαμηλότερη συγκέντρωση του O_2 που μπορεί να διατηρήσει την αερόβια αναπνοή σε ολόκληρα λαχανικά κυμαίνεται γύρω στο 1–3% [7]. Η ευαισθησία των

κομμένων λαχανικών στην τροποποιημένη ατμόσφαιρα είναι τελείως διαφορετική σε σύγκριση με τα ολόκληρα προϊόντα. Έτσι κομμένο μαρούλι είναι λιγότερο επιρρεπές στην αναερόβια αναπνοή από το ολόκληρο όταν συντηρηθεί σε υψηλές συγκεντρώσεις CO_2 [8]. Στην περίπτωση της κομμένης πιπεριάς δεν πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις προσδιορισμού της συγκέντρωσης της αιθανόλης και ακεταλδεϋδης όμως το προϊόν δεν παρουσίασε ξένες οσμές ούτε βλάβες (καστανώσεις).

3.3 Απώλεια βάρους

Ο τεμαχισμός που υπέστησαν οι ελαφρά επεξεργασμένες πράσινες πιπεριές, ελάττωσε την αντίσταση της επιδερμίδας στην απώλεια υγρασίας λόγω διαπνοής. Η αύξηση της επιφάνειας σε σχέση με τον όγκο ευνοεί την απώλεια υγρασίας. Όμως η συντήρηση της κομμένης πιπεριάς σε πλαστικές συσκευασίες δημιουργεί μία ατμόσφαιρα κεκορεσμένη που μειώνει αισθητά την απώλεια υγρασίας. Στην παρούσα εργασία η απώλεια υγρασίας που παρατηρήθηκε στο τέλος της συντήρησης ($14^{η}$ ημέρα) στους 0 °C ήταν: χειρισμός ΣΑ 0.6%, χειρισμός ΣΒ 0.5%, χειρισμός ΣΓ 0.4%, Μάρτυρας 2%. Στους 5 °C η απώλεια βάρους στο τέλος της συντήρησης ήταν: χειρισμός ΣΑ 0.6%, χειρισμός ΣΒ 0.4%, χειρισμός ΣΓ 0.4% , Μάρτυρας 3.4%. Η απώλεια βάρους είναι συνάρτηση του χρόνου με R^2>90% σε όλες τις περιπτώσεις.

Σύμφωνα με τον Burton (1982) [9] η μέγιστη επιτρεπτή απώλεια υγρασίας για την ολόκληρη πιπεριά είναι 7%. Τα κομμένα όμως προϊόντα είναι πιο ευαίσθητα στην απώλεια υγρασίας. Η απώλεια υγρασίας που σημειώθηκε ακόμα και στους μάρτυρες και στις δύο θερμοκρασίες είναι πολύ πιο χαμηλή και έτσι δεν δημιουργεί κάποιο πρόβλημα στην ποιότητα του προϊόντος ακόμα και μετά από 14 ημέρες συντήρησης.

3.4 Υφή

Η υφή διατηρήθηκε σε υψηλά επίπεδα καθ' όλη τη διάρκεια της συντήρησης ($14^{η}$ ημ.) τόσο στους 0 °C όσο και στους 5 °C . Στους 0 °C οι χειρισμοί ΣΑ και ΣΒ διατήρησαν την υφή κοντά στα αρχικά επίπεδα, ενώ στους 5 °C ο μάρτυρας παρουσιάζει υψηλότερες τιμές λόγω αφυδάτωσης.

Οι υψηλές συγκεντρώσεις CO_2 μπορεί να ευνοούν τη διατήρηση της υφής των «ελαφρά επεξεργασμένων» φυτικών οργάνων [10, 11], γεγονός που συμβαίνει και στην παρούσα περίπτωση ή να οδηγούν σε μαλάκωμα των ιστών όπως στην περίπτωση της κομμένης κόκκινης πιπεριάς [12].

3.5 Χρώμα

Από τον πίνακα 1 προκύπτει ότι η φωτεινότητα L* της κομμένης πιπεριάς δεν επηρεάστηκε από τη θερμοκρασία συντήρησης, επηρεάστηκε όμως από τους χειρισμούς και το χρόνο συντήρησης. Οι χαμηλές τιμές του L* και οι υψηλές τιμές του Hue* που διατηρήθηκαν χωρίς σημαντικές μεταβολές μέχρι το τέλος της συντήρησης μαρτυρούν τη διατήρηση του έντονου πράσινου χρώματος που μπορεί να συνδυασθεί με παρεμπόδιση της αποικοδόμησης της χλωροφύλλης. Το φαινόμενο είναι εντονότερο στους 0 °C και στους χειρισμούς ΣΑ, ΣΒ και ΣΓ. Θα μπορούσε επομένως να πει κανείς ότι η χαμηλή θερμοκρασία και η υψηλή συγκέντρωση CO_2 διατήρησε καλλίτερα το χρώμα γεγονός που συμφωνεί με παρατηρήσεις άλλων ερευνητών [13].

Πίνακας 1. Μεταβολή του χρώματος πράσινης κομμένης πιπεριάς που συντηρήθηκε για 14 ημέρες στους 0 °C και 5° C.

Χρωματική παράμετρος	0η ημ		3η ημ.		6η ημ.		10η ημ		14η ημ	
	0 °C	5 °C	0 °C	5 °C	0 °C	5 °C	0 °C	5 °C	0 °C	5 °C
L*										
ΣΑ	32.53	32.53	29.08	32.37	28.87	30.72	29.20	30.37	29.38	30.46
ΣΒ	32.53	32.53	33.62	31.32	29.78	30.40	27.90	32.82	28.33	31.06
ΣΓ	32.53	32.53	33.22	32.59	31.52	33.88	32.90	31.33	34.01	31.68
Μάρτυρας	32.53	32.53	30.94	31.54	31.49	31.39	30.82	32.06	33.05	33.15
C^*_{ab}										
ΣΑ	25.82	25.82	21.54	23.73	23.16	22.65	23.90	23.17	23.90	24.48
ΣΒ	25.82	25.82	25.54	24.06	24.13	23.95	23.58	25.86	24.60	26.65
ΣΓ	25.82	25.82	24.42	21.91	22.90	21.40	22.90	20.32	22.87	22.03
Μάρτυρας	25.82	25.82	22.40	20.82	22.39	20.50	21.40	20.40	22.72	20.55
h^*_{ab}										
ΣΑ	117.53	117.53	118.95	116.51	118.57	118.16	117.30	117.97	118.30	116.93
ΣΒ	117.53	117.53	118.09	116.04	117.70	117.41	117.52	117.31	116.77	116.67
ΣΓ	117.53	117.53	118.12	116.03	117.41	117.41	118.40	115.75	118.72	115.87
Μάρτυρας	117.53	117.53	118.03	117.13	118.07	116.67	118.50	117.34	118.26	114.33

0 °C: L* LSD=0.963, C^*_{ab} LSD=0.565, h^*_{ab} LSD=0.456
5 °C: L* LSD=0.96, C^*_{ab} LSD=0.55, h^*_{ab} LSD=0.708

3.6 Brix

Τα ολικά διαλυτά στερεά συστατικά (Brix) στο τέλος της συντήρησης (14η ημ.) διατηρήθηκαν σε υψηλότερα ποσοστά σε όλους τους χειρισμούς στους 0 °C συγκριτικά με τους 5 °C (πίνακας 2). Στο τέλος της συντήρησης στους 0 °C όλοι οι χειρισμοί παρουσίασαν υψηλότερες τιμές συγκριτικά με την αρχική ενώ στους 5 °C δεν παρουσιάζεται στατιστικά σημαντική διαφορά σχετικά με την αρχική τιμή.

Πίνακας 2. Μεταβολή των ολικών διαλυτών στερεών συστατικών (Brix) κομμένης πράσινης πιπεριάς ποικιλίας Twingo F1 μετά από 14 ημέρες συντήρησης σε MAP στους 0 °C και 5 °C

		ΣΑ	ΣΒ	ΣΓ	Μάρτυρας
0 °C	Αρχή	3.75^{α}	3.75^{α}	3.75^{α}	3.75^{α}
	Τέλος	$4.09^{b\,A}$	$4.12b^{A\,B}$	4.27^{bBC}	4.59^{bC}
5 °C	Αρχή	$3,75^{\alpha}$	3.75^{α}	3.75^{α}	3.75^{α}
	Τέλος	$3,44^{a\,A}$	$3.87^{a\,AB}$	4.03^{aBC}	4.07^{aC}

Τιμές με διαφορετικά πεζά γράμματα στην ίδια στήλη παρουσιάζουν στατιστικά σημαντική διαφορά, p=0.05; Τιμές με διαφορετικά κεφαλαία γράμματα στην ίδια σειρά παρουσιάζουν στατιστικά σημαντική διαφορά, p=0.05.

Σύμφωνα με τους Lopez *et al*. [12], τα σάκχαρα στην κομμένη πράσινη πιπεριά ελαττώνονται ελαφρά στους 5 °C, όμως είναι θέμα ποικιλίας γιατί σε ορισμένες ποικιλίες η μείωση παρουσιάζεται μετά τη 12η ημέρα.

3.7. Ασκορβικό οξύ

Η βιταμίνη C που περιείχε η κομμένη πράσινη πιπεριά στην αρχή της συντήρησης ήταν 128.53 mg/100 g φρέσκου βάρους, τιμή που συμφωνεί με τη βιβλιογραφία [11]. Η περιεκτικότητα σε βιταμίνη C επηρεάστηκε από το χρόνο συντήρησης (πίνακας 3).

Πίνακας 3. Μεταβολή της βιταμίνης C, κομμένης πράσινης πιπεριάς ποικιλίας Twingo F1 μετά από 14 ημέρες συντήρησης σε MAP στους 0 °C και 5 °C

		ΣΑ	ΣΒ	ΣΓ	Μάρτυρας
	Αρχή	128.53^{α}	128.53^{α}	128.53^{α}	128.53^{α}
0 °C	Τέλος (14η ημ)	$122.02^{b\ AB}$	$115.68^{b\ A}$	$126.35^{\ a\ AB}$	$129.02^{a\ B}$
5 °C	Τέλος (14η ημ)	$177.78^{c\ AB}$	$166.22^{\ c\ A}$	$168.0^{c\ AB}$	$204.44^{\ c\ B}$

Τιμές με διαφορετικά πεζά γράμματα στην ίδια στήλη παρουσιάζουν στατιστικά σημαντική διαφορά, p=0.05; Τιμές με διαφορετικά κεφαλαία γράμματα στην ίδια σειρά παρουσιάζουν στατιστικά σημαντική διαφορά, p=0.05

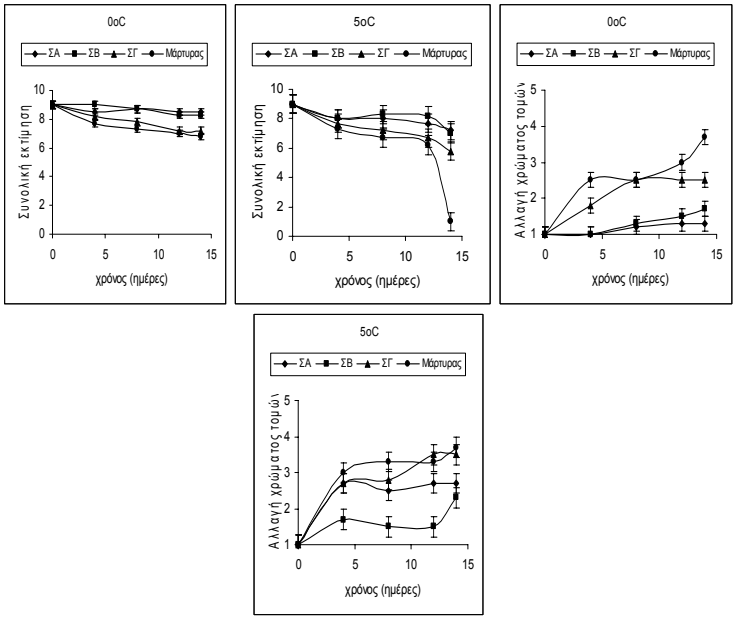
Στο τέλος της συντήρησης στους 0 °C οι χειρισμοί ΣΑ και ΣΒ παρουσίασαν μία ελαφρά μείωση της περιεκτικότητας, ενώ οι χειρισμοί ΣΓ και και μάρτυρας δεν παρουσίασαν απόκλιση από τις αρχικές τιμές. Στο τέλος της συντήρησης στους 5 °C όλοι οι χειρισμοί παρουσίασαν υψηλότερες τιμές από την αρχική. Το γεγονός αυτό αποδεικνύει ότι οι χειρισμοί που εφαρμόσθηκαν διατήρησαν τα αρχικά επίπεδα της βιταμίνης C. Η αύξηση της περιεκτικότητας στην περίπτωση της συντήρησης στους 5 °C μπορεί να αποδοθεί στο γεγονός ότι η θερμοκρασία και η τομή επηρέασαν το στάδιο ωριμότητας της πιπεριάς. Η διατήρηση της βιταμίνης C στην κομμένη πράσινη πιπεριά συμφωνεί και με παρατηρήσεις άλλων ερευνητών [11], απαιτεί όμως περαιτέρω έρευνα διότι διάφοροι παράγοντες όπως η ποικιλία, οι καλλιεργητικές συνθήκες, το στάδιο ωριμότητας και οι συνθήκες συντήρησης επηρεάζουν το αποτέλεσμα.

3.8. Ποιοτική Αξιολόγηση

Η συνολική εκτίμηση της κομμένης πράσινης πιπεριάς διατηρήθηκε καλλίτερα στους 0 °C παρά στους 5 °C (σχ.2). Οι χειρισμοί ΣΑ και ΣΒ διατήρησαν την ποιότητα της κομμένης πιπεριάς σχεδόν στα αρχικά επίπεδα. Στο τέλος της συντήρησης στους 0 °C οι πιπεριές όλων των χειρισμών είχαν τιμές υψηλότερες της οριακής τιμής εμπορίας.

Στους 5 °C ο μάρτυρας την 12η ημέρα ήταν μόλις εμπορεύσιμος ενώ ο χειρισμός ΣΓ στο τέλος της συντήρησης (14η ημέρα) παρουσίασε οριακή τιμή. Οι χειρισμοί ΣΑ και ΣΒ παρουσίασαν υψηλότερες τιμές και ήταν εμπορικά αποδεκτοί μέχρι το τέλος της συντήρησης. Η τροποποιημένη ατμόσφαιρα που δημιουργήθηκε στην περίπτωση των χειρισμών ΣΑ και ΣΒ τόσο στους 0 °C όσο και στους 5 °C με τις πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις του O_2 και τις υψηλές συγκεντρώσεις του CO_2 διατήρησαν το χρώμα, την υφή και τη γενική εμφάνιση της κομμένης πιπεριάς. Τα αποτελέσματα αυτά συμφωνούν με τις παρατηρήσεις των Weichmann (1987)[6], Herner (1987) [12] και Lopez (1997) [12] .

Όσον αφορά την αλλαγή του χρώματος στις τομές, παρατηρούμε ότι στους 0 °C οι χειρισμοί ΣΑ, ΣΒ και ΣΓ τη διατήρησαν σε πολύ χαμηλά επίπεδα και μέχρι το τέλος της συντήρησης (14η ημέρα) οι πιπεριές ήταν εμπορεύσιμες (όριο η τιμή 3), πιο αποτελεσματικοί ήταν οι χειρισμοί ΣΑ και ΣΒ. Ο μάρτυρας από την 12η ημέρα κρίθηκε μη εμπορεύσιμος. Στους 5 °C μόνο οι χειρισμοί ΣΑ και ΣΒ διατήρησαν την κομμένη πιπεριά εμπορεύσιμη μέχρι το τέλος της συντήρησης, ενώ ο μάρτυρας από την 4η ημέρα και ο χειρισμός ΣΓ από την 9η ημέρα ήταν μη εμπορεύσιμοι.



Σχήμα 2. Μεταβολή της συνολικής εκτίμησης και της αλλαγής χρώματος των τομών κομμένης πράσινης πιπεριάς ποικιλίας Twing F1, που συντηρήθηκε σε MAP στους 0 °C και 5 °C. Η κάθε τιμή είναι ο Μ.Ο 6 δειγμάτων x 6 κριτές x 3 επαναλήψεις (N=108)

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τη μελέτη προκύπτουν τα εξής:

Η αναπνευστική δραστηριότητα της κομμένης πιπεριάς είναι πιο υψηλή συγκριτικά με αυτή της ολόκληρης στις υψηλές θερμοκρασίες.

Μετά από 14 ημέρες συντήρησης τόσο στους 0 °C όσο και στους 5 °C η εσωτερική ατμόσφαιρα των συσκευασιών ήταν πολύ φτωχή σε O_2 και πλούσια σε CO_2.

Οι δείκτες ποιότητας της κομμένης πιπεριάς διατηρήθηκαν σε υψηλά επίπεδα κυρίως στην περίπτωση της συντήρησης στους 0 °C.

Η μελέτη αυτή επιβεβαιώνει το γεγονός ότι η πράσινη πιπεριά είναι ένα λαχανικό επιδεκτικό για παραγωγή «ελαφρά επεξεργασμένου» προϊόντος. Εάν η κομμένη πιπεριά συντηρηθεί στους 0 °C μπορεί να έχει διάρκεια εμπορικής ζωής περίπου 14 ημέρες. Περιοριστικός παράγοντας συντήρησης είναι η μικροβιολογική κατάσταση του προϊόντος η οποία πρέπει να εξετάζεται.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η εργασία αυτή πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο του προγράμματος «*Αρχιμήδης*» που συγχρηματοδοτήθηκε από την ΕΕ (ΕΚΤ) και Εθνικούς Πόρους (ΕΠΕΑΕΚ ΙΙ).

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Watada, A.E, Ko, N.P. and Minott, D.A. 1996. Factors affecting quality of fresh–cut horticultural products. *Postharvest Biol. Technol.*, 9 : 115–125.
2. Gorny, R.J. 2001. *A summary of C.A and M.A recommendation for selected fresh–cut fruits and vegetables. In: Optimal C.A for Horticultural perishables.* U.C Davis Postharvest Horticultural Series, No 22A: 104–139.

3. Luo, Y. and Mikitzel, L.J. 1996. Extension of postharvest life of bell peppers with low oxygen. *J. Sci. Food Agric*. 70: 115–120.
4. Μητρόπουλος, Δ., Κοζής, Γ., Μανωλοπούλου, Ε., Λαμπρινός, Γ. 2000. Εκτίμηση του χρόνου συλλογής με μέτρηση αναπνοής στον αγρό. *Πρακτικά 2ου Εθνικού Συνεδρίου Γεωργ. Μηχανικής,* 425–432.
5. Clydescale,F.M 1984. Color measurements. In: Food *Analysis principles and Techniques*, *Vol.1.D.W. Gruenwedwi and J.R. Whitaker*. ed. Marcel Dekker, N. York and Basel, 95-150.
6. Asahi, T. 1978. Biogenesis of cell organelles in wounded plant storage tissue cells. In: *Biochemistry of Wounded Plant Tissues*, ed. G. Kahi, Walter de Gruyter, Berlin, 391–419.
7. Weichmann, J. 1987. Low oxygen effects. In: *Postharvest physiology of vegetables,* ed. J. Weichmann, Marcel Dekker, Inc.: 231–237.
8. Mateos, M., Ke, D., Cantweel, M. and Kader, A.A. 1993. Phenolic metabolism and ethanolic fermentation of intact and cut lettuce exposed to CO_2 enriched atmospheres. *Postharvest Biol. Technol* 3:225–233.
9. Burton, W.G. 1982. *Postharvest Physiology of Food Crops*, Longman Publishing, Co, London and New York.
10. Madrid, M. and Cantwell, M. 1993. Use of high CO_2 atmosphere to maintain quality of intact and fresh–cut melon. *Proc. of 6th Intern. C.A Res. Confer*., June 15–17, pp.736–745.
11. Senesi, E., Prinzivall, M., Sala, M. And Gennari, M. 2000. Physicochemical and Microbiological changes in fresh–cut Green bell peppers as affected by packaging and storage. *Italian J. Food Sci*. 12(1): 55–64.
12. Lopez–Galvez, G., Peiser, G., Nie, X. and Cantwell, M. 1997. Quality of red and green fresh–cut peppers stored in controlled atmospheres. *Proc. of 7th Int. Controlled Atmosphere Conf.,* July 13–18, 5:152–157.
13. Herner, R. 1987. High CO_2 effects on plant organs. In: *Postharvest physiology of vegetables,* ed. J. Weichman, Marcel Dekker, Inc. : 239–253.

(133)

Η ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΣΥΝΤΗΡΟΥΜΕΝΩΝ ΜΗΛΩΝ ΠΟΙΚΙΛΙΑΣ GRANNY SMITH ΩΣ ΚΡΙΤΗΡΙΟ ΠΟΙΟΤΙΚΗΣ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ

Δ. Μητρόπουλος και Γ. Λαμπρινός
Γ.Π.Α., Τμήμα ΑΦΠ–ΓΜ, Ιερά οδός 75, 11855, Αθήνα. Τηλ.: 210 5294035
E–mail: refrigenergy@aua.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εργασία αυτή μελετήθηκε η μεταβολή της πυκνότητας μήλων ποικιλίας Granny *Smith* κατά την συντήρησή τους σε θαλάμους 0 ^{o}C και 10 ^{o}C καθώς και σε αποθήκη μέσης θερμοκρασίας 16 ^{o}C για μια καλλιεργητική περίοδο. Στα αρχικά στάδια της αποθήκευσης ο ρυθμός μεταβολής είναι εντονότερος ενώ στην συνέχεια μειώνεται. Η μεταβολή της πυκνότητας φαίνεται να εξαρτάται περισσότερο από τον χρόνο αποθήκευσης παρά από τον βαθμό απώλειας μάζας. Αναπτύχθηκαν επίσης σχέσεις, μέσω παλινδρόμησης, που περιγράφουν την πυκνότητα των μήλων τόσο σε σχέση με τον χρόνο αποθήκευσης όσο και με τον βαθμό απώλειας μάζας.

GRANNY SMITH APPLE DENSITY AS CRITERION OF QUALITY ASSESSMENT DURING STORAGE.

D. Mitropoulos and G. Lambrinos
A.U.A., Department of Natural Resources and Agricultural Engineering, Iera Odos 75, 11855, Athens. Tel.: 210 5294035 e–mail: refrigenergy@aua.gr

ABSTRACT

Density changes of *Granny Smith* apples were studied during storage. Apples were stored at 0 and 10 ^{o}C, as well as at a common warehouse at 16 ^{o}C mean temperature. The study extended in a single cultivation period. The rate of density variation was found to be higher at the beginning of storage and reduced at late stages. The study revealed that density change is mainly storage time dependent while mass loss influence seems to be of lesser degree. Correlations between apples' density and storage time or mass loss were also derived.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η συντήρηση των μήλων για μεγάλο χρονικό διάστημα, είναι απαραίτητη προκειμένου να καλυφθεί η ζήτηση που εμφανίζεται όλο το χρόνο. Η απλή συντήρηση με ψύξη, η συντήρηση με ελεγχόμενη ατμόσφαιρα (C.A.) και η συντήρηση σε συσκευασίες με τροποποιημένη ατμόσφαιρα (M.A.P.) είναι τεχνικές που μπορούν να εφαρμοστούν με ικανοποιητικά αποτελέσματα. Σε ορισμένες παραγωγικές ημιορεινές περιοχές με σχετικά ψυχρό κλίμα, όπου υπάρχει έλλειψη ψυκτικών θαλάμων, θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν και απλές αποθήκες για συντήρηση μικρού χρονικού διαστήματος 8–12 εβδομάδων [1].

Ένα σημαντικό ζήτημα που σχετίζεται γενικότερα με την συντήρηση των αγροτικών προϊόντων, είναι η ανάπτυξη μεθόδων για τον ποιοτικό τους έλεγχο. Αυτό είναι αναγκαίο γιατί τα προϊόντα πρέπει να πληρούν ένα ελάχιστο όριο ποιοτικών προδιαγραφών κατά την κατανάλωση. Έτσι είναι δυνατό με τη μεγιστοποίηση του χρόνου συντήρησης, να επιτευχθεί ένας διπλός στόχος, δηλαδή τόσο η διατήρηση της ποιότητας του προϊόντος στην αγορά όσο και η οικονομική ωφέλεια του παραγωγού.

Τα κυριότερα χαρακτηριστικά των μήλων, που επηρεάζουν την αποδοχή τους από τον καταναλωτή, είναι το σχήμα, το χρώμα, η σκληρότητα και η αφυδάτωση.

Όπως είναι φυσικό, η απόφαση του καταναλωτή για την αγορά μήλων στηρίζεται κυρίως σε υποκειμενική εκτίμηση των παραπάνω χαρακτηριστικών. Σε εμπορική όμως κλίμακα ο έλεγχος και η εκτίμηση της ποιοτικής εξέλιξης των συντηρούμενων μήλων πρέπει να γίνεται με όσο το δυνατό πιο αντικειμενική μεθοδολογία, προκειμένου να επιτυγχάνεται το μέγιστο δυνατό διάστημα συντήρησης και το καλύτερο οικονομικό αποτέλεσμα. Η έλλειψη τέτοιων αντικειμενικών μεθόδων πρακτικά εφαρμόσιμων καθιστά επιτακτική την ανάγκη ανάπτυξης μιας σχετικής μεθοδολογίας.

Η πυκνότητα (ή το ειδικό βάρος) είναι χαρακτηριστικό που έχει χρησιμοποιηθεί στο παρελθόν για τον προσδιορισμό της ποιοτικής κατάστασης ορισμένων προϊόντων. Η περιεκτικότητα της πατάτας σε άμυλο έχει βρεθεί να συσχετίζεται με την πυκνότητα των κονδύλων [2]. Επίσης υπάρχουν πολλές αναφορές που συσχετίζουν την περιεκτικότητα σε ξηρά ουσία με την πυκνότητα [3], καθώς επίσης τη μηχανική αντοχή των κονδύλων με την πυκνότητα [4]. Το στάδιο ωριμότητας πολλών φρούτων και λαχανικών (βερίκοκα, φράουλες τομάτα, αρακάς κλπ) έχει βρεθεί ότι συσχετίζεται με την πυκνότητά τους [5], [6].

Στο βοτρυόκαρπο (grape fruit) έχει βρεθεί ότι υπάρχει συσχέτιση του πάχους του φλοιού και του σχήματος με την πυκνότητα των φρούτων [7]. Σημαντική είναι επίσης η συσχέτιση μεταξύ της ζημιάς από παγετό και της πυκνότητας των εσπεριδοειδών όπως επίσης και του ποσοστού περιεχόμενου χυμού με την πυκνότητα [6]. Η περιεκτικότητα σε ξηρά ουσία των ακτινιδίων συνδέεται επίσης με την πυκνότητα τους [8].

Σε ορισμένες περιπτώσεις οι διαφορές πυκνότητας έχουν χρησιμοποιηθεί για το διαχωρισμό προσβεβλημένων από έντομα σπόρων [9]. Επίσης έχουν γίνει προσπάθειες ανάπτυξης μεθοδολογιών και τεχνικών για των διαχωρισμό φρούτων και λαχανικών σε ποιοτικές κλάσεις με βάση τις διαφορές πυκνότητας [6].

Παρόλο ότι υπάρχουν εκτενείς αναφορές σχετικά με τη συσχέτιση ποιοτικών χαρακτηριστικών και πυκνότητας, δεν βρέθηκαν αρκετές που να αφορούν τα μήλα. Ο Vincent [10] αναφέρει ότι σε κάποιες ποικιλίες μήλων παρατηρείται διαφοροποίηση της τοπικής πυκνότητας της σάρκας σε σχέση με το βάθος από την επιδερμίδα. Σε ορισμένες ποικιλίες μάλιστα υπάρχει συσχέτιση μεταξύ πυκνότητας και σκληρότητας (stiffness).

Η μέση πυκνότητα των μήλων *Delicious pilafa* συσχετίζεται πολύ καλά με το ποσοστό απώλειας μάζας κατά την αποθήκευση ανεξάρτητα των συνθηκών και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ένα ποιοτικό κριτήριο αξιολόγησης των φρούτων [11]. Όμως η

ποικιλία *Delicious pilafa* σε αντίθεση με την *Granny Smith* χαρακτηρίζεται από έντονους ρυθμούς αφυδάτωσης κατά την αποθήκευση.

Σκοπός λοιπόν της εργασίας αυτής είναι η μελέτη της μεταβολής της πυκνότητας των μήλων *Granny Smith* κατά την αποθήκευση καθώς και η διερεύνηση της δυνατότητας χρήσης της πυκνότητας ως ποιοτικό κριτήριο αξιολόγησης των συντηρούμενων φρούτων.

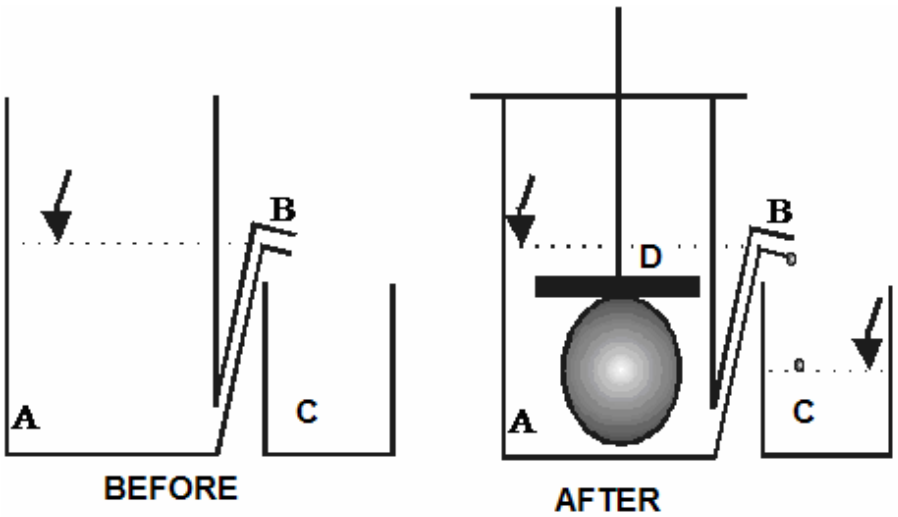
2. ΥΛΙΚΑ και ΜΕΘΟΔΟΙ

Χρησιμοποιήθηκαν μήλα ποικιλίας *Granny Smith*. Η συλλογή έγινε στις αρχές Νοεμβρίου και τα μήλα αποθηκεύτηκαν σε δύο θαλάμους σταθερών συνθηκών 0 και 10°C καθώς και σε αποθήκη μέσης θερμοκρασίας 16°C. Χρησιμοποιήθηκαν 30 φρούτα ανά χειρισμό και στους υπολογισμούς έχουν ληφθεί υπόψη δεδομένα που αφορούν απώλεια μάζας όχι μεγαλύτερης από το 10% της αρχικής.

Η θερμοκρασία και η σχετική υγρασία στο εσωτερικό κάθε χώρου καταγραφόταν σε τακτά χρονικά διαστήματα με την βοήθεια φορητών καταγραφικών συσκευών (Hobo 8E, Onset Computer Corporation, Bourne, USA).

Η απώλεια μάζας (ML) των φρούτων εκτιμήθηκε με διαδοχικές ατομικές ζυγίσεις των φρούτων σε τακτά χρονικά διαστήματα και εκφράστηκε ως ποσοστό % της αρχικής μάζας. Για τις ζυγίσεις των φρούτων χρησιμοποιήθηκε ένας ηλεκτρονικός ζυγός AND FY2000 (AND, Tokyo, Japan) ακρίβειας 0,02 g.

Ο υπολογισμός της πυκνότητας του κάθε φρούτου έγινε με εκτίμηση του όγκου του αντίστοιχου εκτοπιζόμενου νερού με τη βοήθεια της διάταξης που φαίνεται στο σχήμα 1. Τα φρούτα των οποίων επρόκειτο να μετρηθεί η πυκνότητά, μεταφέρονταν κάθε φορά σε θερμοκρασία δωματίου (εργαστηρίου). Πριν την ογκομέτρηση τα φρούτα ζυγίζονταν, ενώ μετά την ογκομέτρηση στεγνώνονταν με απορροφητικό χαρτί και τοποθετούνταν πάλι στο χώρο συντήρησης.



Σχήμα 1. Πειραματική διάταξη εκτίμησης όγκου.

Τελικά η πυκνότητα των μήλων υπολογίστηκε από την σχέση:

$$D_{\mu} = \frac{m_{\mu} \times D_{\nu}}{m_{\nu} - V_{\delta} \times D_{\nu}} \quad (9)$$

όπου: D_{μ}: πυκνότητα μήλου, [g/cm^3]
m_{μ}: μάζα μήλου, [g]
D_{ν}: πυκνότητα νερού, [g/cm^3]
m_{ν}: μάζα εκτοπιζόμενου νερού, [g]
V_{δ}: όγκος διάτρητου δίσκου (σταθερός) [cm^3]

Η ακρίβεια και η επαναληψιμότητα της παραπάνω διαδικασίας υπολογισμού του όγκου των μήλων εκτιμήθηκε με επανειλημμένες (με διαφορά λίγων λεπτών) μετρήσεις τόσο του όγκου συγκεκριμένου φρούτου όσο και του όγκου μεταλλικής σφαίρας. Από τις δοκιμές αυτές προέκυψε ότι η μέθοδος εκτίμησης του όγκου είναι εξαιρετικά αξιόπιστη, και η αβεβαιότητα του σφάλματος $\pm$ 0,5% [11]. Ο χρόνος αποθήκευσης (t) έχει εκφραστεί σε μέρες.

Για την στατιστική επεξεργασία των πειραματικών δεδομένων χρησιμοποιήθηκαν τα προγράμματα Stagraphics 4.0 και SPSS 8.0.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Στον πίνακα 1 φαίνονται τα αποτελέσματα παλινδρόμησης μεταξύ πυκνότητας (D) και χρόνου αποθήκευσης (t). Για τη στατιστική επεξεργασία χρησιμοποιήθηκαν οι μέσοι όροι των μετρήσεων των τριάντα φρούτων. Η επιλογή του μοντέλου παλινδρόμησης έγινε, ύστερα από δοκιμή διάφορων απλών μοντέλων (γραμμικό, εκθετικό κλπ), με βάση το τετράγωνο του συντελεστή συσχέτισης (R^2). Από τις αναλύσεις που έγιναν επιλέχθηκε τελικά το μοντέλο της μορφής $y=a+b\cdot x^{-1/2}$.

Πίνακας 1. Αποτελέσματα παλινδρόμησης μεταξύ πυκνότητας (D) – χρόνου αποθήκευσης (t) και πυκνότητας – απώλειας μάζας (ML) για τις τρεις συνθήκες συντήρησης.

	$D=a+b\cdot t^{-1/2}$				
	a		**b**		
Θερμοκρασία συντήρησης	**MEAN**	***$CL_{(0,95)}$**	**MEAN**	***$CL_{(0,95)}$**	**R^2**
0	0,8396[1]	0,0119	-0,0043[3]	0,0018	0,946
10	0,8399[1]	0,0106	-0,0046[3]	0,0017	0,959
W	0,8385[1]	0,0183	-0,0043[3]	0,0029	0,873
	$D=c+f\cdot(ML)^{-1/2}$				
	c		**f**		
0	0,8404[2]	0,0107	-0,0269[4]	0,0101	0,958
10	0,8408[2]	0,0116	-0,0149[5]	0,0058	0,954
W	0,8391[2]	0,0193	-0,0142[5]	0,0100	0,865

* Όριο εμπιστοσύνης για επίπεδο σημαντικότητας 0,95
Ίδιος εκθέτης σημαίνει ότι δεν υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές.

Ο συντελεστής b σχετίζεται άμεσα με την ημερήσια μεταβολή της πυκνότητας. Η μορφή του μοντέλου και οι τιμές του συντελεστή b δείχνουν ότι η πυκνότητα μειώνεται με το χρόνο αποθήκευσης και μάλιστα ο ρυθμός μείωσης ελαττώνεται με την πάροδο

του χρόνου. Όπως φαίνεται στον πίνακα 1 δεν παρατηρούνται στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των διαφόρων θερμοκρασιακών χειρισμών. Όμοια δεν παρατηρούνται στατιστικά σημαντικές διαφορές στις τιμές του συντελεστή a, ο οποίος είναι μια στατιστική εκτίμηση της αρχικής πυκνότητας όπου λαμβάνεται υπόψη η συνολική μεταβολή της πυκνότητας με το χρόνο αποθήκευσης. Με βάση τα παραπάνω και μετά από παλινδρόμηση όλων των δεδομένων, προέκυψε η σχέση 2 που περιγράφει την μεταβολή της πυκνότητας με το χρόνο συντήρησης, ανεξάρτητα των συνθηκών.

$$D= (0,839 \pm 0,007)-(0,004 \pm 0,001) \cdot t^{-1/2},\ R^2=0,924 \qquad (2)$$

Ο συντελεστής f συσχετίζει την μεταβολή της πυκνότητας με τη μεταβολή του ποσοστού απώλειας μάζας ενώ ο συντελεστής c είναι μια άλλη στατιστική εκτίμηση της αρχικής πυκνότητας. Όπως φαίνεται στον πίνακα 1 δεν παρατηρούνται στατιστικά σημαντικές διαφορές στις τιμές του c μεταξύ των θερμοκρασιακών χειρισμών. Αντίθετα παρατηρούνται διαφορές στις τιμές του συντελεστή f, όπου η συνθήκη των 0°C διαφέρει στατιστικά από τις άλλες δύο. Αυτό σημαίνει ότι δεν είναι δυνατή η δημιουργία μιας ενιαίας σχέσης που να περιγράφει την μεταβολή της πυκνότητας με την μεταβολή της απώλειας μάζας για όλους τους θερμοκρασιακούς χειρισμούς. Με βάση τα δεδομένα του πίνακα 1 και μια νέα παλινδρόμηση, προκύπτουν δύο σχέσεις. Η πρώτη (3) αφορά την θερμοκρασία συντήρησης των 0°C και η δεύτερη (4) τις υψηλές θερμοκρασίες συντήρησης (10 °C και W).

$$D= (0,840 \pm 0,011)-(0,027 \pm 0,010) \cdot (ML)^{-1/2}\ (0^oC),\ R^2=0,958 \qquad (3)$$
$$D= (0,840 \pm 0,009)-(0,015 \pm 0,005) \cdot (ML)^{-1/2}\ (10–16^oC),\ R^2=0,909 \qquad (4)$$

Όπως ήδη αναφέρθηκε, στα αποτελέσματα του πίνακα 1 αλλά και στις σχέσεις 2–4, γίνεται στατιστική εκτίμηση της αρχικής πυκνότητας λαμβάνοντας υπόψη τη συνολική εξέλιξη της μεταβολής της πυκνότητας. Υπολογίστηκε όμως ότι η μέση αρχική πυκνότητα των φρούτων όλων των χειρισμών ήταν 0,8381 ± 0,0065 g/cm^3. Με βάση αυτό το δεδομένο έγιναν παλινδρομήσεις και προέκυψαν οι σχέσεις σταθερής αρχικής πυκνότητας που φαίνονται στον πίνακα 2.

Πίνακας 2. Παλινδρόμηση πυκνότητας (D)–χρόνου αποθήκευσης (t) αφενός και πυκνότητας–απώλειας μάζας (ML) αφετέρου, με δεδομένη την αρχική μετρηθείσα μέση πυκνότητα, για τις τρεις συνθήκες συντήρησης.

Θερμοκρασία συντήρησης	**MEAN**	***CL$_{(0,95)}$**	**R^2**
	$D=0,8381+g \cdot t^{-1/2}$		
0	-0,0041[1]	0,0008	0,943
10	-0,0044[1]	0,0007	0,956
W	-0,0043[1]	0,0012	0,873
	$D=0,8381+h \cdot (ML)^{-1/2}$		
0	-0,0249[2]	0,0044	0,951
10	-0,0137[3]	0,0026	0,946
W	-0,0137[3]	0,0041	0,864

*Όριο εμπιστοσύνης για επίπεδο σημαντικότητας 0,95
Ίδιος εκθέτης σημαίνει ότι δεν υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές.

Οι συντελεστές g και h του πίνακα 2 είναι ανάλογοι των συντελεστών b και f του πίνακα 1. Ανάλογα επίσης είναι τα αποτελέσματα όσον αφορά την ύπαρξη στατιστικά

σημαντικών διαφορών. Η μεταβολή της πυκνότητας με το χρόνο αποθήκευσης μπορεί να αποδοθεί με μια ενιαία σχέση (5) αφού δεν παρατηρούνται διαφορές μεταξύ των θερμοκρασιακών χειρισμών.

$$D= (0{,}0042 \pm 0{,}0005) \cdot t^{-1/2},\ R^2=0{,}922 \quad (5)$$

Για την μεταβολή της πυκνότητας με την απώλεια μάζας προέκυψαν επίσης δύο σχέσεις. Η πρώτη (6) αφορά τη θερμοκρασία των 0°C και η δεύτερη (7) τις υψηλότερες θερμοκρασίες.

$$D= (0{,}025 \pm 0{,}004) \cdot (ML)^{-1/2}\ (0^oC),\ R^2=0{,}951 \quad (6)$$
$$D= (0{,}014 \pm 0{,}002) \cdot (ML)^{-1/2}\ (10–16^oC),\ R^2=0{,}906 \quad (7)$$

Από τα αποτελέσματα που εκτέθηκαν παραπάνω φαίνεται ότι η μεταβολή της πυκνότητας εξαρτάται κυρίως από το χρόνο αποθήκευσης και λιγότερο από τις συνθήκες αποθήκευσης και το ποσοστό απώλειας μάζας. Φαίνεται λοιπόν ότι οι δομικές και μορφολογικές αλλαγές που συμβαίνουν στους ιστούς των φρούτων και οι οποίες είναι υπεύθυνες για τη μεταβολή του όγκου, και συνεπώς της πυκνότητας, εξαρτώνται κυρίως από το χρόνο συντήρησης. Η συμπεριφορά των μήλων *Granny Smith* διαφέρει από την συμπεριφορά των μήλων *Delicious pilafa* όπου η μεταβολή της πυκνότητας εξαρτάται κυρίως από το ποσοστό απώλειας μάζας [11]. Αυτή η διαφορά συμπεριφοράς πρέπει κυρίως να αποδοθεί στην μεγάλη διαφορά του ρυθμού απώλειας μάζας δεδομένου ότι τα μήλα *Granny Smith* αφυδατώνονται με πολύ αργό ρυθμό σε σύγκριση με τα *Delicious pilafa* που αφυδατώνονται εντονότατα [1].

Οι σχέσεις που αναφέρθηκαν παραπάνω μπορούν πρακτικά να χρησιμοποιηθούν για την εκτίμηση του ποσοστού απώλειας μάζας μιας παρτίδας φρούτων εάν είναι γνωστές οι συνθήκες στις οποίες είχαν αποθηκευτεί τα φρούτα.

Μπορεί επίσης να εκτιμηθεί ο όγκος των μήλων (γνωρίζοντας τη μάζα) οποιαδήποτε στιγμή κατά τη συντήρηση τους χωρίς να είναι αναγκαίο να εμβαπτιστούν σε νερό. Τέτοιου είδους εκτίμηση είναι χρήσιμη κατά των υπολογισμό της αναπνοής των μήλων σε κλειστά συστήματα όπου βέβαια απαιτείται ο όγκος των φρούτων.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η πυκνότητα των φρούτων μειώνεται κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης. Στα αρχικά στάδια της αποθήκευσης ο ρυθμός μεταβολής είναι εντονότερος, ενώ στη συνέχεια μειώνεται. Δοκιμάστηκαν διάφορα απλά μοντέλα και προέκυψε ότι αυτό που παρουσιάζει μεγαλύτερες τιμές του R^2 είναι το μοντέλο της μορφής $y=a+b*x^{-1/2}$.

Μετά από παλινδρομήσεις προέκυψαν σχέσεις που περιγράφουν την εξέλιξη της πυκνότητας στα μήλα *Granny Smith* τόσο σε σχέση με τον χρόνο αποθήκευσης όσο και με το βαθμό απώλειας μάζας. Η μεταβολή της πυκνότητας εξαρτάται πρωτίστως από τον χρόνο αποθήκευσης και δευτερευόντως από το ποσοστό απώλειας μάζας. Έτσι δημιουργήθηκαν σχέσεις που περιγράφουν την πυκνότητα σε σχέση με το χρόνο αποθήκευσης, ανεξάρτητα των συνθηκών αποθήκευσης. Τέτοια ενιαία περιγραφή δεν κατέστη δυνατή για την περιγραφή της εξέλιξης της πυκνότητας σε σχέση με τον βαθμό απώλειας μάζας. Σε αυτή την περίπτωση, οι σχέσεις που αναπτύχθηκαν αναφέρονται σε δυο διαφορετικές θερμοκρασιακές περιοχές, 0°C και 10–16°C αντίστοιχα.

Με βάση τα διαθέσιμα στοιχεία, συγκρίσεις με την εύκολα αφυδατούμενη ποικιλία *Delicious pifafa* δείχνουν ότι τα μήλα *Granny Smith* παρουσιάζουν διαφορές στη συμπεριφορά. Η μεταβολή πυκνότητας στα *Delicious pilafa* είναι πρακτικά σταθερή με το χρόνο αφού γραμμικές σχέσεις εκφράζουν ικανοποιητικά το φαινόμενο. Αντιθέτως

στα G*ranny Smith* ο ρυθμός μεταβολής της πυκνότητας μειώνεται με το χρόνο. Η μεταβολή της πυκνότητας στα μήλα που μελετήθηκαν εξαρτάται κυρίως από το χρόνο αποθήκευσης σε αντίθεση με τα *Delicious pilafa* που εξαρτάται κυρίως από το βαθμό απώλειας μάζας.

Οι σχέσεις που αναπτύχθηκαν μπορούν πρακτικά να χρησιμοποιηθούν για την εκτίμηση ή πρόβλεψη του ποσοστού απώλειας μάζας μιας παρτίδας φρούτων καθώς επίσης και του όγκου των φρούτων εάν είναι γνωστές οι συνθήκες στις οποίες είχαν αποθηκευτεί τα φρούτα.

Η επιβεβαίωση της παραπάνω συμπεριφοράς σε περισσότερες καλλιεργητικές περιόδους θα μπορούσε να οδηγήσει σε ασφαλέστερες συσχετίσεις οι οποίες θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν σαν ένα βοηθητικό ποιοτικό κριτήριο κατά την αποθήκευση των μήλων *Granny Smith*.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Μητρόπουλος, Δ. και Λαμπρινός, Γ., 2000. Αφυδάτωση μήλων ποικιλιών *Delicious Pilafa* και Granny Smith κατά την αποθήκευση, σελ. 433–440. *Πρακτικά 2ου Εθνικού Συνεδρίου Γεωργικής Μηχανικής,* Βόλος, 28–30 Σεπτ., 2000.
2. Baritelle, A. L. and Hyde, G. M., 2003. Specific gravity and cultivar effects on potato tuber impact sensitivity. *Postharvest Biology and Technology,* 29:279–286.
3. Wilson, J. H. and Lindsay, A. M., 1969. The relation between specific gravity and dry matter content of potato tubers. *American Potato Journal*, 46:323–328.
4. Hudson, D. E., 1975. The relationship of cell size, intercellular space, and specific gravity to bruise depth in potatoes. *American Potato Journal,* 52:9 –14.
5. Wolfe, R. R., Chan, W.Y. and Cobianchi, A. P., 1974. Criteria for maturity separation of highbush blueberries. *Transactions of the ASAE*, 17(6):1117–1120.
6. Zaltzman, A., Verma, B. P. and Schmilovitch Z., 1987. Potential of quality sorting of fruits and vegetables using fluidized bed medium. *Transactions of the ASAE*, 30(3):823–831.
7. Cohen, A., 1972. Estimation of peel thickness and fruit shape from the specific gravity of grapefruits. *The Israeli Journal of Agricultural Research*, 22(3):161–169.
8. Jordan, B. R., Walton, F. E., Klages, U. K. and Seelye, J. R., 2000. Postharvest fruit density as an indicator of dry matter and ripened soluble solids of kiwifruit. *Postharvest Biology and Technology*, 20:163–173.
9. Stermer, R.A., 1972. Automated x–ray inspection of grain for insect infestation. *Transactions of the ASAE*, 15(6):1081–1085.
10. Vincent, J. F. V., 1989. Relationship between density and stiffness of apple flesh. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 47:443–462.
11. Mitropoulos D. & Lambrinos G. 2007. Delicious pilafa apple density changes as a quality index of mass loss degradation during storage. *Journal of food quality*, 30 (in press).

(134)

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΜΗΛΩΝ DELICIOUS PILAFA ΣΕ ΠΑΡΑΔΟΣΙΑΚΕΣ ΑΠΟΘΗΚΕΣ

Δ. Μητρόπουλος και Γ. Λαμπρινός
Γ.Π.Α., Τμήμα ΑΦΠ–ΓΜ, Ιερά οδός 75, 11855, Αθήνα. Τηλ.: 210 5294035
email: refrigenergy@aua.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εργασία αυτή έγινε εκτίμηση της σχετικής αποτελεσματικότητας αποθήκευσης της όψιμης ποικιλίας μήλων *Delicious pilafa* σε αποθήκες που βρίσκονται στην περιοχή της Τρίπολης η οποία χαρακτηρίζεται από ψυχρό κλίμα. Ως ποιοτικά κριτήρια χρησιμοποιήθηκαν η απώλεια μάζας, η σκληρότητα και το χρώμα των φρούτων, οι δε συγκρίσεις έγιναν σε σταθερές συνθήκες θερμοκρασίας 0 και 10 ^{o}C. Η αποτελεσματικότητα αποθήκευσης εξαρτάται από τη χρονιά (καιρικές συνθήκες, πρώτη ύλη). Στις αποθήκες επιτεύχθηκε ικανοποιητική συντήρηση για 6–8 εβδομάδες που αντιστοιχεί σε χρονική περίοδο πέντε μηνών σε θερμοκρασία 0 ^{o}C.

STORAGE EFFECTIVENESS OF DELICIOUS PILAFA APPLES IN TRADITIONAL WAREHOUSES.

D. Mitropoulos and G. Lambrinos
A.U.A., Department of Natural Resources and Agricultural Engineering, Iera Odos 75, 11855, Athens. Tel.: 210 5294035 email: refrigenergy@aua.gr

ABSTRACT

Apples of the late season *Delicious pilafa* variety were stored in traditional warehouses situated at Tripolis–Greece. The climate of the area is cold. The storage effectiveness was estimated using mass loss, texture and color changes as qualitative criteria. The reference conditions were controlled conditions storage rooms at 0 and 10 ^{o}C. Storage effectiveness, in the warehouses, is significantly affected by the harvest year (climate during storage, raw material). A satisfactory storage in the warehouses, for six to eight weeks, was achieved. This period corresponds to five months of storage at 0 ^{o}C.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η αποθήκευση φρούτων και λαχανικών σε συνηθισμένες αποθήκες (χωρίς δυνατότητα ψύξης) έχει χρησιμοποιηθεί με σχετική επιτυχία στο παρελθόν, όταν οι ψυκτικές εγκαταστάσεις ήταν σπανιότερες.

Βασικές προϋποθέσεις για ικανοποιητική συντήρηση των προϊόντων είναι i) Η εποχή συλλογής των προϊόντων που θα αποθηκευτούν να είναι κατά το δυνατό όψιμη ώστε να επικρατούν χαμηλές θερμοκρασίες κατά την αποθήκευση ii) Τα προϊόντα να είναι ανθεκτικά στις διακυμάνσεις της θερμοκρασίας και iii) Η θερμοκρασία να μην πέφτει σε τέτοιο επίπεδο ώστε να υπάρχει κίνδυνος να παγώσουν τα προϊόντα [1]. Επίσης ορισμένες κατασκευαστικές λεπτομέρειες (επιχωμάτωση, σύστημα εξαερισμού, προσθήκη υγρασίας) καθώς και κατάλληλη συσκευασία των φρούτων θα μπορούσαν να αυξήσουν την αποτελεσματικότητα της αποθήκευσης [1], [2].

Το γεγονός ότι οι συνθήκες αποθήκευσης στο εσωτερικό των αποθηκών δεν ελέγχονται και δεν ρυθμίζονται στο επιθυμητό επίπεδο αλλά διαμορφώνονται ως αποτέλεσμα των εξωτερικών συνθηκών, κάνει τους παραγωγούς διστακτικούς στην αποθήκευση των μήλων σε τέτοιους χώρους. Επιπλέον, η εμπειρία δείχνει ότι η συντήρηση σε ψυκτικούς θαλάμους σταθερών συνθηκών έχει πολύ καλά αποτελέσματα για μια περίοδο συντήρησης που μπορεί να φτάσει αρκετούς μήνες για τα μήλα '*Delicious pilafa*' [3], [4], [5].

Παρόλα αυτά, κάτω από ορισμένες προϋποθέσεις θα μπορούσε να είναι εφικτή η βραχυχρόνια αποθήκευση μήλων '*Delicious pilafa*' σε κοινές αποθήκες στην περιοχή παραγωγής τους γιατί: i) Η περιοχή είναι ημιορεινή. ii) Στην περιοχή υπάρχουν διάσπαρτες πολλές αποθήκες, σημαντικό ποσοστό των οποίων χρησιμοποιείται με επιτυχία για την αποθήκευση πατάτας για μεγάλο χρονικό διάστημα (μέχρι πέντε μήνες). iii) Η ποικιλία '*Delicious pilafa*' είναι όψιμη, συλλέγεται το τρίτο δεκαήμερο του Οκτωβρίου, και έτσι η αποθήκευση γίνεται σε σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες iv) Πολλοί παραγωγοί διαθέτουν τα φρούτα σε λαϊκές αγορές αρχίζοντας αμέσως μετά τη συλλογή. Έτσι η δυνατότητα συντήρησης έστω και για μερικές εβδομάδες θα είχε οικονομικό όφελος αφού συνήθως τα έξοδα συντήρησης στα επαγγελματικά ψυγεία καταβάλλονται ανεξάρτητα του χρόνου συντήρησης.

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι η μελέτη της αποθηκευτικής συμπεριφοράς κοινών –παραδοσιακών αποθηκών που βρίσκονται στην περιοχή της Τεγέας Αρκαδίας (ημιορεινή περιοχή παραγωγής των μήλων '*Delicious pilafa*') και η διερεύνηση της δυνατότητας ικανοποιητικής αποθήκευσης μήλων σε αυτές ως μία συμπληρωματική διαδικασία στη συνήθη αποθήκευση σε ψυκτικές εγκαταστάσεις.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Χρησιμοποιήθηκαν μήλα ποικιλίας *Delicious pilafa*, τριών καλλιεργητικών περιόδων. Η συλλογή έγινε το τρίτο δεκαήμερο του Οκτωβρίου και τα μήλα αποθηκεύτηκαν σε δύο θαλάμους σταθερών συνθηκών 0 και 10°C καθώς και σε δύο παραδοσιακές αποθήκες οι οποίες βρίσκονται στην περιοχή Τεγέας χώρο παραγωγής των μήλων. Σε κάθε χώρο αποθήκευσης τοποθετήθηκαν είκοσι φρούτα για μη καταστροφικές μετρήσεις (βάρος, χρώμα) και εννέα δείγματα των δεκαπέντε φρούτων για καταστροφικές μετρήσεις (σκληρότητα).

Η πρώτη αποθήκη (W1) ήταν μικρών διαστάσεων (4.70 x 3.10 x 2.30m), παλαιάς κατασκευής, χτισμένη με τσιμεντόλιθους χωρίς εσωτερικό και εξωτερικό επίχρισμα. Η δεύτερη (W2) ήταν παρόμοιων διαστάσεων (4.70 x 4.30 x 2.30m) με πέτρινους τοίχους μεγάλου πλάτους (>0.5 m) με εσωτερικό και εξωτερικό επίχρισμα.

Στις αποθήκες είχε τοποθετηθεί απλό σύστημα αερισμού παροχής 10 φορές τον όγκο της αποθήκης ανά ώρα. Οι ανεμιστήρες ελέγχονταν με χρονοδιακόπτη ώστε να λειτουργούν μόνο τις νυχτερινές ώρες.

Η επιλογή των αποθηκών αυτών έγινε διότι οι δυο αυτοί τύποι είναι αφ' ενός διαδεδομένοι στην περιοχή και άρα αντιπροσωπευτικοί, αφ' ετέρου δε εκφράζουν δύο ακραία, από άποψη κατασκευής και συμπεριφοράς κτίρια.

Η θερμοκρασία και η σχετική υγρασία στο εσωτερικό κάθε αποθήκης καταγραφόταν σε τακτά χρονικά διαστήματα με την βοήθεια φορητών καταγραφικών συσκευών (Hobo 8E, Onset Computer Corporation, Bourne, USA).

Ως κριτήρια της αποτελεσματικότητας αποθήκευσης χρησιμοποιήθηκαν η απώλεια μάζας (ML), η σκληρότητα (F_s και F_p) και το χρώμα. Η απώλεια μάζας εκτιμήθηκε με διαδοχικές ατομικές ζυγίσεις των φρούτων του δείγματος των είκοσι μήλων με ηλεκτρονικό ζυγό ακρίβειας 0.02 g (FY 300, AND, Tokyo, Japan), μια ή δυο φορές την εβδομάδα. Το αποτέλεσμα εκφράστηκε ως % ποσοστό της αρχικής μάζας.

Παράλληλα με την μέτρηση της μάζας των φρούτων γινόταν και μέτρηση του χρώματος σε δύο προσημειωμένες αντιδιαμετρικές θέσεις στην ισημερινή περιοχή κάθε φρούτου. Για τη μέτρηση του χρώματος χρησιμοποιήθηκε χρωματόμετρο (Minolta CR 300) και τα αποτελέσματα εκφράστηκαν στο χρωματομετρικό σύστημα La*b*.

Η εκτίμηση της σκληρότητας των φρούτων γινόταν με μέτρηση της μέγιστης δύναμης που απαιτούνταν για να εισχωρήσει ένας καθετήρας διαμέτρου 11mm στην σάρκα των φρούτων σε βάθος 20mm. Σε κάθε φρούτο γίνονταν δύο δοκιμές σε δυο αντιδιαμετρικές θέσεις στην ισημερινή περιοχή. Στην μια δοκιμή είχε αφαιρεθεί η επιδερμίδα (F_p) ενώ στην άλλη όχι (F_s). Για τις δοκιμές χρησιμοποιήθηκε ένα σκληρόμετρο χειρός (FT 327, Effegi, Milan, Italy) το οποίο είχε τοποθετηθεί σε επιτραπέζια βάση για καλύτερο έλεγχο. Τα αποτελέσματα εκφράστηκαν σε N.

Για κάθε μέτρηση καθενός από τους παραπάνω ποιοτικούς παράγοντες, κατά τη διάρκεια αποθήκευσης, προσδιορίστηκαν μέσες τιμές και όρια εμπιστοσύνης (a=0.05) και έτσι από όλες τις δυνατές συγκρίσεις προέκυψαν ζεύγη τιμών χρόνου αποθήκευσης σε αποθήκη (t_w) και σταθερές συνθήκες (t_{cc}) της μορφής (t_w, t_{cc}) όπου τα μήλα δεν παρουσίαζαν στατιστικά σημαντικές διαφορές ως προς τον συγκεκριμένο κάθε φορά παράγοντα. Οι γραμμικές σχέσεις της μορφής $t_w=a \cdot t_{cc}$ που περιγράφουν τη σχετική αποτελεσματικότητα προέκυψαν ύστερα από παλινδρόμηση. Όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή της κλίσης a της παραπάνω σχέσης τόσο αποτελεσματικότερη είναι η αποθήκευση στην αντίστοιχη αποθήκη. Για τη στατιστική επεξεργασία των πειραματικών δεδομένων χρησιμοποιήθηκαν τα προγράμματα Stagraphics 4.0 και SPSS 8.0.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Από την καταγραφή θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας προκύπτει ότι κατά τον πρώτο μήνα αποθήκευσης η αποθήκη με τα λεπτά τοιχώματα (W1) παρουσίασε μικρότερη θερμοκρασία ενώ στη συνέχεια η κατάσταση αντιστράφηκε. Αντίστροφη είναι η εικόνα της σχετικής υγρασίας που εμφανίζεται αυξημένη στην αποθήκη W1 για το πρώτο περίπου δίμηνο αποθήκευσης. Η καταγραφή της μέσης θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας δείχνει ότι η αποθήκη W1 εμφάνισε ελαφρώς καλύτερα χαρακτηριστικά (μειωμένη θερμοκρασία και αυξημένη σχετική υγρασία) για την πρώτη κρίσιμη, λόγω υψηλής θερμοκρασίας, περίοδο αποθήκευσης.

Από την άλλη μεριά η αποθήκη W2 χαρακτηρίζεται από υψηλή θερμική αδράνεια που εκφράστηκε με πολύ μικρή ημερήσια διακύμανση της θερμοκρασίας. Η μέση ημερήσια διακύμανση της αποθήκης W1 ήταν περίπου 3.3 φορές μεγαλύτερη από την αντίστοιχη της W2. Το 83% των ημερών αποθήκευσης στην αποθήκη W1 παρουσίασαν ημερήσια διακύμανση θερμοκρασίας μέχρι 5°C ενώ στην άλλη αποθήκη το 87% των

ημερών είχαν διακύμανση μικρότερη από 1.5°C. Από αυτή την άποψη η αποθήκη με τα τοιχώματα μεγάλου πάχους είχε καλύτερη θερμική συμπεριφορά.

Στους πίνακες 1 έως 3 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της εκτίμησης της σχετικής αποτελεσματικότητας αποθήκευσης στις αποθήκες W1 και W2 συγκριτικά με θαλάμους σταθερών συνθηκών 0 και 10°C. Η επιλογή των θερμοκρασιών αναφοράς για τις συγκρίσεις έγινε έτσι γιατί η θερμοκρασία των 0°C είναι κατάλληλη για μακροχρόνια συντήρηση των μήλων και χρησιμοποιείται σε εμπορικές εφαρμογές [4], [2] ενώ η θερμοκρασία των 10°C προσεγγίζει την μέση θερμοκρασία των αποθηκών. Η σύγκριση των αποτελεσμάτων συντήρησης σε αποθήκες με βάση τη θερμοκρασία συντήρησης των 0°C είναι περισσότερο σημαντική και έχει πρακτική σημασία γιατί συσχετίζει το αποτέλεσμα της συντήρησης μήλων σε αποθήκες με τις συνήθεις εμπορικές συνθήκες συντήρησης σε σταθερές συνθήκες ψυκτικού θαλάμου.

Πίνακας 1. Συσχέτιση χρόνων αποθήκευσης σε αποθήκη (t_w) και σταθερές συνθήκες (t_{cc}), που αντιστοιχούν σε ίδιες μέσες τιμές της απώλειας μάζας (ML), με γραμμική σχέση της μορφής $t_w=a \cdot t_{cc}$.

Καλλιεργητική περίοδος	Αποθήκη	Σταθερές συνθήκες (cc σε °C)	a	[1]CL(0.95)	R^2
1	W1	0	0.75	0.05	0.89
2	W1	0	0.39	0.03	0.84
3	W1	0	0.90	0.06	0.94
1	W2	0	0.73	0.05	0.93
2	W2	0	0.28	0.02	0.88
3	W2	0	0.74	0.07	0.82
1	W1	10	2.14	0.24	0.78
2	W1	10	1.33	0.14	0.85
3	W1	10	1.35	0.18	0.83
1	W2	10	2.13	0.23	0.80
2	W2	10	0.92	0.12	0.93
3	W2	10	1.11	0.20	0.75

[1] Όριο εμπιστοσύνης για επίπεδο σημαντικότητας 0.95

Από τις τιμές του πίνακα 1 προκύπτει ότι οι αποθήκες παρουσιάζουν διαφορετική συμπεριφορά μεταξύ τους όταν η σύγκριση γίνεται με τον θάλαμο των 0°C, με την αποθήκη W1 να υπερτερεί. Ανάλογα είναι και τα συμπεράσματα όταν γίνεται σύγκριση με το θάλαμο των 10°C μόνο που παρατηρείται τάση μείωσης των διαφορών μεταξύ των αποθηκών. Η αποτελεσματικότητα αποθήκευσης φαίνεται ότι μεταβάλλεται σημαντικά από χρονιά σε χρονιά. Αυτές οι διαφορές είναι εντονότερες όταν η σύγκριση γίνεται με το θάλαμο των 0°C γεγονός που πρέπει να οφείλεται στην έντονη ποιοτική καταπόνηση των φρούτων σε θερμοκρασία συντήρησης 10°C, που δεν επιτρέπει να φανούν μικρές διαφορές στην εξέλιξη στις αποθήκες.

Σε όλες τις περιπτώσεις, οι αποθήκες παρουσίασαν μια χειρότερη απόδοση από το θάλαμο των 0°C η οποία κυμάνθηκε από 28 έως 90%. Εντελώς διαφορετική ήταν η κατάσταση σε σχέση με τον θάλαμο των 10°C όπου η απόδοση των αποθηκών ήταν καλύτερη (εκτός μιας περίπτωσης), με ποσοστό απόδοσης από 92 έως 214%.

Από τα στοιχεία που αναφέρθηκαν προκύπτει ότι δεν είναι στατιστικά δυνατή (για επίπεδο σημαντικότητας 0.95) η συσχέτιση της αποτελεσματικότητας αποθήκευσης στις αποθήκες με αυτή σε σταθερές συνθήκες συντήρησης θερμοκρασίας 0°C κατά ενιαίο τρόπο ανεξάρτητα καλλιεργητικής περιόδου.

Πίνακας 2. Συσχέτιση χρόνων αποθήκευσης σε αποθήκη (t_w) και σταθερές συνθήκες (t_{cc}), που αντιστοιχούν σε ίδιες μέσες τιμές της σκληρότητας των φρούτων με επιδερμίδα (F_s), με γραμμική σχέση της μορφής $t_w=a\cdot t_{cc}$.

Καλλιεργητική περίοδος	Αποθήκη	Σταθερές συνθήκες (cc σε °C)	a	[1]CL(0.95)	R^2
1	W1	0	0.60	0.06	0.72
2	W1	0	0.37	0.05	0.69
3	W1	0	0.67	0.12	0.65
1	W2	0	0.53	0.07	0.71
2	W2	0	0.37	0.05	0.75
3	W2	0	0.70	0.10	0.76
1	W1	10	1.45	0.16	0.69
2	W1	10	1.20	0.16	0.74
3	W1	10	1.13	0.17	0.68
1	W2	10	1.17	0.16	0.71
2	W2	10	1.08	0.16	0.80
3	W2	10	1.27	0.17	0.76

[1] Όριο εμπιστοσύνης για επίπεδο σημαντικότητας 0.95

Η χρήση του ποιοτικού κριτηρίου της σκληρότητας με (F_s) ή χωρίς (F_p) επιδερμίδα οδηγεί σε σχεδόν ταυτόσημα συμπεράσματα όσον αφορά την αποτελεσματικότητα της συντήρησης των μήλων στις δυο αποθήκες (Πίνακες 2 και 3). Πιο συγκεκριμένα, δεν παρατηρούνται διαφορές ανάμεσα στις αποθήκες ενώ η αποτελεσματικότητα αποθήκευσης μεταβάλλεται με την καλλιεργητική περίοδο όταν η σύγκριση γίνεται με τον θάλαμο θερμοκρασίας 0°C. Οι στατιστικά σημαντικές διαφορές που παρατηρούνται στις τιμές των πινάκων 2 και 3 δεν επιτρέπουν την έκφραση της αποτελεσματικότητας αποθήκευσης με μια ενιαία σχέση ανεξάρτητα αποθηκών και καλλιεργητικών περιόδων. Αυτό είναι στατιστικά δυνατό (για επίπεδο σημαντικότητας 0.95) μόνο στην περίπτωση που ως κριτήριο χρησιμοποιείται η σκληρότητα χωρίς σάρκα (F_p) με θερμοκρασία αναφοράς τους 10°C.

Η αποτελεσματικότητα της συντήρησης (κλίσεις a της σχέσης $t_w=a\cdot t_{cc}$) αναφορικά με τη θερμοκρασία συντήρησης 0°C που προκύπτει με τη χρήση του ποιοτικού κριτηρίου της σκληρότητας, είναι ανάλογη με αυτή που προέκυψε με βάση το βαθμό απώλειας μάζας.

Οι χρωματομετρικοί παράγοντες L και b* αποδείχθηκαν εντελώς ακατάλληλοι για την εκτίμηση της αποτελεσματικότητας συντήρησης (αποτελέσματα δεν παρουσιάζονται). Ο χρωματομετρικός παράγοντας a* έδωσε καλύτερα αλλά πάντως όχι ικανοποιητικά αποτελέσματα αφού οι τιμές του συντελεστή συσχέτισης στις σχέσεις παλινδρόμησης είναι μικρές. Με βάση τα πειραματικά στοιχεία φαίνεται ότι κανένας από τους χρωματομετρικούς παράγοντες L, a* και b* δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση της αποτελεσματικότητας αποθήκευσης των μήλων σε κοινές αποθήκες.

Πίνακας 3. Συσχέτιση χρόνων αποθήκευσης σε αποθήκη (t_w) και σταθερές συνθήκες (t_{cc}), που αντιστοιχούν σε ίδιες μέσες τιμές της σκληρότητας των φρούτων χωρίς επιδερμίδα (F_p), με γραμμική σχέση της μορφής $t_w=a\cdot t_{cc}$.

Καλλιεργητική περίοδος	**Αποθήκη**	**Σταθερές συνθήκες (cc σε ^oC)**	**a**	**[1]CL(0.95)**	**R^2**
1	W1	0	0.56	0.05	0.83
2	W1	0	0.37	0.06	0.68
3	W1	0	0.66	0.09	0.70
1	W2	0	0.52	0.05	0.88
2	W2	0	0.39	0.06	0.74
3	W2	0	0.70	0.10	0.70
1	W1	10	1.27	0.12	0.67
2	W1	10	1.10	0.16	0.69
3	W1	10	1.16	0.17	0.68
1	W2	10	1.14	0.11	0.65
2	W2	10	1.20	0.16	0.74
3	W2	10	1.34	0.20	0.69

[1] Όριο εμπιστοσύνης για επίπεδο σημαντικότητας 0.95

Η διαφοροποίηση της αποτελεσματικότητας αποθήκευσης ανάλογα με την καλλιεργητική περίοδο που διακρίνεται ανεξάρτητα του ποιοτικού κριτηρίου σύγκρισης (ML, F_s, F_p) πρέπει να οφείλεται τόσο στα χαρακτηριστικά της πρώτης ύλης κατά τη συλλογή όσο και στις επικρατούσες κλιματικές συνθήκες κατά την περίοδο αποθήκευσης [6], [7], [8], [9], [10], [11]. Η προσπάθεια ποσοτικοποίησης αυτών των επιδράσεων μέσω πολλαπλής παλινδρόμησης δεν έδωσε ικανοποιητικά αποτελέσματα. Σε αυτές τις αναλύσεις ως χαρακτηριστικά ποιότητας της πρώτης ύλης κατά τη συλλογή χρησιμοποιήθηκαν η σκληρότητα (F_s και F_p), τα ολικά διαλυτά στερεά (SSC) και το ποσοστό αμύλου, ενώ ως χαρακτηριστικά των συνθηκών αποθήκευσης χρησιμοποιήθηκαν τα ολοκληρώματα θερμοκρασίας – χρόνου (TTI) και ελλείμματος υγρασίας – χρόνου (WVPDI).

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των πινάκων 1 έως 3 στη δυσμενέστερη ($2^η$) από τις περιόδους που μελετήθηκαν, τα μήλα που συντηρήθηκαν στην αποθήκη W1 μετά από περίπου 8 βδομάδες αποθήκευσης παρουσίαζαν την ίδια κατάσταση με μήλα που συντηρήθηκαν για πέντε μήνες σε θερμοκρασία 0^oC. Τα μήλα που συντηρήθηκαν στην αποθήκη W2 παρουσίασαν τα ίδια αποτελέσματα σε έξι εβδομάδες από άποψη αφυδάτωσης και σε οκτώ με βάση τη σκληρότητα.

Από τα κλιματικά στοιχεία των αποθηκών προκύπτει ότι η $3^η$ καλλιεργητική περίοδος παρουσιάζει αυξημένο ολοκλήρωμα ελλείμματος υγρασίας – χρόνου σε σχέση με τις υπόλοιπες περιόδους. Έτσι η αυξημένη αφυδάτωση μπορεί να αποδοθεί σ' αυτό τον παράγοντα. Ο αυξημένος ρυθμός απώλειας σκληρότητας πρέπει να σχετίζεται και με τον έντονο ρυθμό αφυδάτωσης [12].

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Για την εκτίμηση της σχετικής αποτελεσματικότητας αποθήκευσης των μήλων *Delicious pilafa* σε δύο παραδοσιακές αποθήκες χρησιμοποιήθηκαν ως ποιοτικά κριτήρια το ποσοστό απώλειας μάζας, η σκληρότητα των φρούτων (με και χωρίς επιδερμίδα) και το χρώμα. Οι συγκρίσεις έγιναν τόσο με θάλαμο σταθερών συνθηκών σε εμπορική θερμοκρασία συντήρησης 0 ^{o}C όσο και με θάλαμο θερμοκρασίας 10 ^{o}C. Το χρώμα αποδείχθηκε ακατάλληλο ποιοτικό κριτήριο για την εκτίμηση της αποτελεσματικότητας αποθήκευσης

Προέκυψαν σχέσεις που συνδέουν την αποτελεσματικότητα αποθήκευσης στις δύο αποθήκες με τους θαλάμους σταθερών συνθηκών λαμβάνοντας υπόψη ως ποιοτικό κριτήριο την απώλεια μάζας ή τη σκληρότητα. Η αποτελεσματικότητα αποθήκευσης στις δυο αποθήκες κυμάνθηκε από 28 έως 90% σε σχέση με τις συνήθεις εμπορικές συνθήκες συντήρησης, με τη πρώτη αποθήκη (λεπτά τοιχώματα) να έχει καλύτερα αποτελέσματα.

Η χρήση της σκληρότητας ως ποιοτικού κριτηρίου εκτίμησης της σχετικής αποτελεσματικότητας αποθήκευσης έδωσε παρόμοια αποτελέσματα με κύρια διαφορά ότι οι δύο αποθήκες εμφανίζουν την ίδια αποτελεσματικότητα αποθήκευσης. Όπως και στην προηγούμενη περίπτωση δεν ήταν δυνατό να εκτιμηθεί η αποτελεσματικότητα αποθήκευσης με μια ενιαία σχέση ανεξάρτητα καλλιεργητικής περιόδου.

Παρά το γεγονός ότι οι σχέσεις που εκτιμούν την αποτελεσματικότητα αποθήκευσης με βάση την απώλεια μάζας χαρακτηρίζονται από ικανοποιητικές τιμές του συντελεστή συσχέτισης, δεν ήταν στατιστικά δυνατό να δημιουργηθεί μια σχέση που να καλύπτει όλες τις περιόδους συντήρησης.

Οι διαφορές μεταξύ των καλλιεργητικών περιόδων πιθανό να οφείλονται σε κλιματικές διαφορές κατά την περίοδο συντήρησης ή σε διαφορές της πρώτης ύλης. Με τα υπάρχοντα πάντως στοιχεία δεν κατέστη δυνατό να ποσοτικοποιηθεί η επίδραση των παραπάνω παραγόντων.

Στην πιο αντίξοη από τις καλλιεργητικές περιόδους που εξετάστηκαν επιτεύχθηκε ικανοποιητική συντήρηση για οκτώ εβδομάδες στην πρώτη αποθήκη και για έξι στην δεύτερη. Αυτές οι περίοδοι που αντιστοιχούν σε πέντε μήνες εμπορικής αποθήκευσης σε θερμοκρασία 0°C. Πρέπει να τονιστεί ότι δεν ελήφθησαν μέτρα αύξησης της υγρασίας του χώρου αποθήκευσης που ενδεχομένως θα μπορούσαν να μειώσουν τις δυσμενείς επιπτώσεις του ελλείμματος υγρασίας που αποδεικνύεται ο κυρίαρχος παράγοντας περιορισμού του χρόνου αποθήκευσης. Σε κάθε πάντως περίπτωση μπορεί βάσιμα να υποστηριχθεί ότι είναι εφικτή η αποθήκευση για 6–8 εβδομάδες.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. United States Department of Agriculture, 1966. Storing vegetables and fruits in basements, cellars, outbuildings and pits. *U.S.D.A.* Buletin No 119.
2. Σφακιωτάκης Ε., 2004. Μετασυλλεκτική Φυσιολογία και Τεχνολογία Νωπών Οπωροκηπευτικών Προϊόντων. Typoman. Θεσσαλονίκη.
3. Lambrinos G., Assimaki H., Manolopoulou H.and Vlahou A., 1993. Response of 'Pilafa Delicious' apples to modified atmospheres. *Acta Horticulturae*. 379:375–382.
4. Λαμπρινός Γ. και Μανωλοπούλου Ε., 1995. Αφυδάτωση των μήλων κατά την αποθήκευση με έμφαση στα μήλα 'Delicious pilafa'. *Πρακτικά 5ου πανελλήνιου Συνεδρίου Τροφίμων*. Σελ. 322–328. Αθήνα.
5. Lambrinos G., Manolopoulou H.and Mitropoulos D., 2000. Conservation des pommes Pilafa Delicious dans l'air periodiquement enrichi en gaz carbonique

(chocs CO_2). *In: F.Artés et al. 'Improving postharvest technologies of fruits, vegetables and ornamentals'*. Vol. II, IIR Edition pp.787–792.

6. Drake S. R. and A. T. Eisele, 1994. Influence of harvest date and controlled atmosphere storage delay on the color and quality of 'Delicious' apples stored in a purge–type controlled–atmosphere environment. *Horttechnology*. 4(3):260–263.
7. Dris R., 1999. Variation in the storage life of Lobo, Aroma, Red Atlas and Raike apples during three years. *Acta Horticulturae*. 485:133–139.
8. Patterson M. E. and Nichols W. C., 1988. Internet address: *http://postharvest.tfrec.wsu.edu/pgDisplay.php?article=N6I2B*. Harvest Maturity and Storage of Granny Smith Apples For Late CA and Uniform Market Quality.
9. Stow J., 1986. Effects of rate of establishment of storage conditions and ethylene removal on the storage performance of `Cox's Orange Pippin' apples. *Scientia Horticulturae*. 28(4):369–378.
10. Tijskens L. M. M., Konopacki P and M. Simcic, 2003. Biological variance, burden or benefit. *Postharvest Biology and Technology*. 27:15–25.
11. Wilkinson B. G., 1965. Some effects of storage under different conditions of humidity on the physical properties of apples. *Journal of the American Society for Horticultural science*. 40:58–65.
12. Mitropoulos D. and Lambrinos G., 2005. Changes in firmness of apples affected by moisture loss during storage. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology*. 80(4):421–426.

(135)

ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΤΗΣ ΑΠΩΛΕΙΑΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΚΑΤΑΨΥΞΗ ΑΣΥΣΚΕΥΑΣΤΩΝ ΟΠΩΡΟΛΑΧΑΝΙΚΩΝ

Γ. Ξανθόπουλος, Γρ. Λαμπρινός, Δ. Μητρόπουλος, Ε. Χατζής
Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων & Γεωργικής Μηχανικής, Ιερά Οδός 75, Τ.Κ. 11855,
Τηλ. 210 529 4031, Fax. 210 529 4032, e–mail: refrigenergy@aua.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Κατά την κατάψυξη ασυσκεύαστων κυρίως τροφίμων λαμβάνει χώρα αφυδάτωση αυτών που οδηγεί σε ποιοτική υποβάθμιση. Η συσκευασία μπορεί να μειώσει την απώλεια μάζας (αφυδάτωση) κάτω από ορισμένες προϋποθέσεις. Στην εργασία αυτή μελετήθηκαν στατιστικά οι παράγοντες που επηρεάζουν την απώλεια μάζας του ασυσκεύαστου αγγουριού. Στη συνέχεια αναπτύχθηκε μία τροποποιημένη μορφή του νόμου της διάχυσης *Fick* για την πρόβλεψη αυτής με μεγάλη ακρίβεια.

PREDICTION OF MASS LOSS DURING FREEZING OF UNPACKAGED FOODS

G. Xanthopoulos, Gr. Lambrinos, D. Mitropoulos, E. Chatzis
Agricultural University of Athens, Department of Natural Resources Management & Agricultural Engineering, 75 Iera Odos., 118 55, Tel. 210 529 4029, Fax. 210 529 4032, e–mail: refrigenergy@aua.gr

ABSTRACT

Mass loss is taking place during freezing of unpackaged mainly foods. This phenomenon causes quality degradation of the produce. Use of packaging can reduce the mass losses under certain conditions. In this research the parameters that affect mass loss of unpackaged cucumber were identified and statistically analysed. Finally a modified form of *Fick's* law of diffusion was developed to estimate mass loss during freezing. This relation was proved accurate in mass loss prediction.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η κατάψυξη τροφίμων είναι μία ευρέως χρησιμοποιούμενη μέθοδος συντήρησης. Η εφαρμογή σύγχρονων τεχνικών στην κατάψυξη των τροφίμων έχει ως αποτέλεσμα τη συντήρησή τους για μεγάλα χρονικά διαστήματα σε προσιτό κόστος και ταυτόχρονη διατήρηση σε μεγάλο ποσοστό των αρχικών τους ιδιοτήτων. Ένα επίσης μεγάλο πλεονέκτημα της κατάψυξης είναι ότι η εφαρμογή της αποτρέπει τη χρήση χημικών συντηρητικών ενώ η απώλεια των θρεπτικών συστατικών είναι ελάχιστη τόσο κατά την κατάψυξη όσο και τη συντήρηση των προϊόντων.

Ένα μεγάλο ποσοστό των τροφίμων καταψύχεται και αρκετές φορές αποθηκεύεται ασυσκεύαστο, σε ακατάλληλη συσκευασία ή σε ακατάλληλες συνθήκες. Σε αυτές τις περιπτώσεις σημειώνεται απώλεια μάζας (αφυδάτωση) λόγω της επίδρασης του ψύχοντα αέρα. Το έλλειμμα στην πίεση των υδρατμών μεταξύ της επιφάνειας του τροφίμου και του ψύχοντα αέρα είναι η κινητήρια δύναμη που οδηγεί στην αφυδάτωση του τροφίμου.

Και στις δύο περιπτώσεις (κατάψυξη και συντήρηση) ο σχηματισμένος επιφανειακός πάγος εξαχνώνεται δημιουργώντας μία πορώδη στρώση, της οποίας το πάχος αυξάνει με την πάροδο του χρόνου. Αυτό το φαινόμενο οδηγεί όχι μόνο σε ποσοτικές απώλειες (αφυδάτωση) αλλά και σε ποιοτική υποβάθμιση που χαρακτηρίζεται από οπτική υποβάθμιση, απώλεια γεύσης, υφής και χρώματος [1,2] και πρόσληψη ξένων οσμών.

Είναι φανερό ότι αν δεν υπάρχει κατάλληλος έλεγχος της ψυκτικής αλυσίδας, τότε η επιφανειακή αφυδάτωση οδηγεί σε σοβαρές ποιοτικές και οικονομικές απώλειες. Επομένως η πρόβλεψη και ο έλεγχος του φαινομένου έχει μεγάλο πρακτικό ενδιαφέρον [3]. Γι' αυτό είναι αναγκαία η μελέτη και προτυποποίηση της επίδρασης των συνθηκών κατάψυξης και των χαρακτηριστικών των προϊόντων στο φαινόμενο της αφυδάτωσης.

Η βιβλιογραφική ανασκόπηση έδειξε ότι υπάρχουν κάποιες μελέτες στην αφυδάτωση καταψυχόμενων δειγμάτων πατάτας [4], τυλόζης, πάγου [5] και κρέατος [6]. Μελέτες πάνω στο συγκεκριμένο φυτικό δείγμα δεν υπάρχουν.

Σκοπός της μελέτης αυτής είναι η ταυτοποίηση και στατιστική ανάλυση των παραγόντων που συντελούν στην αφυδάτωση του καταψυχόμενου αγγουριού με φλούδα καθώς και η ανάπτυξη ενός απλουστευμένου μοντέλου πρόβλεψης της αφυδάτωσης βασιζόμενο στα χαρακτηριστικά του προϊόντος και στις συνθήκες (θερμοκρασία και ταχύτητα) του ψύχοντος μέσου.

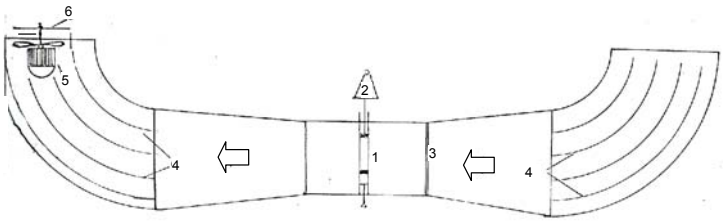
1. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1 Πειραματική εγκατάσταση

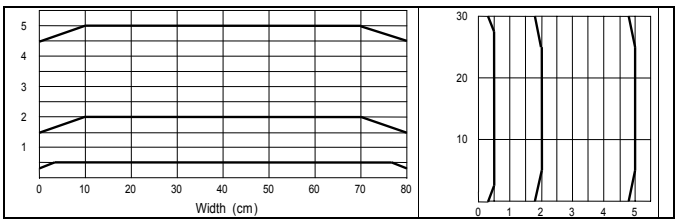
Η πειραματική εγκατάσταση έχει σχεδιαστεί και κατασκευαστεί στο «*Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας*» του Γ.Π.Α. Αποτελείται από έναν αγωγό τετραγωνικής διατομής μήκους 5 m εντός του οποίου ανακυκλώνεται ο αέρας του ψυκτικού θαλάμου. Ο αγωγός (Σχήμα 1) διακρίνεται σε πέντε μέρη στο κέντρο του οποίου βρίσκεται ο θάλαμος δοκιμών (30×80 cm^2).

Ο ψυχρός αέρας εντός του αγωγού κινείται από έναν ανεμιστήρα αξονικής ροής τοποθετημένο στην έξοδο του αγωγού. Το πεδίο των ταχυτήτων ομογενοποιείται από μία σειρά πτερυγίων τοποθετημένων ομοκεντρικά στο εσωτερικό των ακραίων κάμψεων του αγωγού. Για τον ίδιο σκοπό είναι τοποθετημένος πριν το θάλαμο δοκιμών, ένας συγκλίνων αγωγός ο οποίος φέρει ένα κυψελοειδές πλέγμα όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.

Το προφίλ των ταχυτήτων του αέρα που επιτεύχθηκε με αυτήν την διάταξη παρουσιάζεται στο Σχήμα 2. Ένα καταγραφικό σύστημα χρησιμοποιήθηκε για την καταγραφή των θερμοκρασιών του θαλάμου και του κατεψυχόμενου δείγματος στην επιφάνεια και το κέντρο του από θερμοζεύγη.



Σχήμα 1. Πειραματική εγκατάσταση [1. δείγμα; 2. ζυγός; 3. πλέγμα ομογενοποίησης της ροής του αέρα; 4. πτέρυγες; 5. ανεμιστήρας; 6. ρυθμιστής της ροής του αέρα]



Σχήμα 2. Προφίλ ταχυτήτων εντός του θαλάμου δοκιμών.

Η υγρασία του ψυκτικού θαλάμου καταγραφόταν από ένα ηλεκτρονικό υγρόμετρο. Μια μικρής παροχής φυγοκεντρική αεραντλία αντλούσε σε τακτά χρονικά διαστήματα δείγματα από το θάλαμο και μέσω ενός σωλήνα 3 m τα οδηγούσε στο υγρόμετρο σημείου δρόσου. Ο σωλήνας εξωτερικά θερμαινόταν από ηλεκτρική αντίσταση ώστε τα δείγματα στο υγρόμετρο να έχουν θερμοκρασία κοντά στους 15–20 ^{o}C.

Η ταχύτητα του αέρα ρυθμιζόταν ηλεκτρονικά με τη βοήθεια ποτενσιόμετρου και ενός ρυθμιστή ροής αέρα (damper) τοποθετημένου στην κατάθλιψη του ανεμιστήρα και μετριόταν με ένα ψηφιακό ανεμόμετρο μυλίσκου τοποθετημένου στο εσωτερικό του αγωγού δοκιμών για την καταγραφή μετρήσεων σε χαμηλές θερμοκρασίες καθώς και με ένα ανεμόμετρο θερμαινόμενου νήματος τύπου CLIMATHERM με ακρίβεια ±0.044 m/s και διακριτική ικανότητα 0.01 m/s.

Η ζύγιση των δειγμάτων πραγματοποιείτο με ηλεκτρονικό ζυγό του οποίου το ηλεκτρονικό μέρος ήταν τοποθετημένο εκτός του θαλάμου κατάψυξης για αποφυγή δυσλειτουργίας λόγω των χαμηλών θερμοκρασιών, ενώ το ζυγιστικό κύτταρο (μηχανικού τύπου) ήταν τοποθετημένο πάνω στο θάλαμο δοκιμών. Η ακρίβεια του ζυγού ήταν ±0.02 g, η διακριτική του ικανότητα ήταν 0.01 g και η μέγιστη ικανότητά του 400 g.

2.2 Πειραματική διαδικασία

Σε όλα τα πειράματα χρησιμοποιήθηκαν συγχρόνως δύο δείγματα αγγουριού (*Cucumis sativus, Cucurbitaceae*) με φλούδα. Το ύψος των δειγμάτων ήταν 15 cm ενώ η διάμετρος τους 40 mm. Το πείραμα πραγματοποιήθηκε σε κυλινδρικά δείγματα αγγουριού. Αυτή η επιλογή βασίστηκε στην επιθυμία για μελέτη του βιολογικού υλικού ως έχει σε πρώτη φάση, ώστε αργότερα με πειράματα σε κύβους ή δίσκους να είναι δυνατή η σύγκριση και εξαγωγή συμπερασμάτων που αφορούν στην επίδραση της γεωμετρίας και του πορώδους, όπως αυτό διαμορφώνεται από τη σώρευση του τεμαχισμένου αγγουριού, στα φαινόμενα μεταφοράς θερμότητας και μάζας.

Για να διασφαλιστεί ότι η μεταφορά θερμότητας και μάζας στα δείγματα ήταν ακτινική (μονοδιάστατη), δύο λαστιχένιοι κύλινδροι προσαρμόστηκαν στα άκρα των δειγμάτων αφού πρώτα οι άκρες τους είχαν κοπεί. Σε αυτά τοποθετήθηκαν κατά την αξονική διεύθυνση νήματα τα οποία αφενός μεν συνέδεαν τους δύο δίσκους, αφετέρου

χρησίμευαν για την ανάρτηση του δείγματος στο ζυγό. Το ένα δείγμα χρησιμοποιήθηκε στη ζύγιση, ενώ στο άλλο προσαρμόστηκαν δύο θερμοζεύγη, ένα υποδερμικά και ένα στο κέντρο του για την καταγραφή των θερμοκρασιακών μεταβολών τους. Τα θερμοζεύγη που χρησιμοποιήθηκαν ήταν τύπου K, με ακρίβεια ±1.0 ^{o}C και διακριτική ικανότητα 0.1 ^{o}C. Τα δείγματα αναρτήθηκαν σε αποστάσεις 20 cm και 30 cm από τα πλευρικά τοιχώματα του αγωγού και 5 cm από την οροφή του αγωγού. Επειδή το βάρος των θερμοζευγών θα μπορούσε να μεταβάλλει αυτό των δειγμάτων για αυτό χρησιμοποιήθηκαν δύο δείγματα. Οι μετρήσεις (θερμοκρασίας, βάρους) επαναλαμβανόταν σε τακτά χρονικά διαστήματα των 2–3 min. Για την ελαχιστοποίηση του σφάλματος κατά τη ζύγιση εξαιτίας των δονήσεων από το ρεύμα αέρα, λαμβάνονταν πολλές μετρήσεις εντός 10 s και στο τέλος καταγραφόταν ο μέσος όρος αυτών. Στις υψηλές ταχύτητες, πριν κάθε ζύγιση διακόπτονταν η λειτουργία του ανεμιστήρα. Η θερμοκρασία και η σχετική υγρασία του θαλάμου μετριόταν από ένα θερμοϋγρόμετρο τύπου AHLBORN MESS (TERM 228–1) υγρού–ξηρού θερμομέτρου ακρίβειας ±2.0 % και διακριτικής ικανότητας 0.5%. Η απόλυτη υγρασία του θαλάμου κατά τη διάρκεια των πειραμάτων παρέμεινε σταθερή. Αυτό επιτεύχθηκε ελαχιστοποιώντας τη χρήση της πόρτας του ψυκτικού θαλάμου αφού όλες οι μετρήσεις γίνονταν αυτόματα, ακόμα και αυτές των ζυγίσεων, χωρίς την ανάγκη εισόδου εντός του ψυκτικού θαλάμου έως το πέρας του πειράματος.

Τα πειράματα τερματίζονταν όταν η θερμοκρασία της επιδερμίδας των δειγμάτων εξισωνόταν με αυτήν του θαλάμου. Η τελευταία ελεγχόταν από έναν θερμοστάτη ο οποίος είχε ανοχή ± 2 ^{o}C. Τα πειράματα κατάψυξης πραγματοποιήθηκαν σε τρεις θερμοκρασίες (-10, -18, -25) ^{o}C και πέντε ταχύτητες αέρα. (0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 5.0) m/s.

Τα πειραματικά δεδομένα συγκεντρώνονταν από ένα καταγραφικό σύστημα τύπου CR10X (Campbell Scientific Ltd.) σε προκαθορισμένα χρονικά διαστήματα και καταχωρούνταν σε έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή.

2.3 Ανάλυση των πειραματικών δεδομένων

Η μη γραμμική παλινδρόμηση πραγματοποιήθηκε με τη χρήση της μεθόδου *Levenberg–Marquardt* [7, 8]. Η συγκεκριμένη μέθοδος συνδυάζει τον αλγόριθμο της πιο απότομης καθόδου (*steepest–descent algorithm*) με μία στατιστική μέθοδο βασισμένη στις σειρές *Taylor* για την τελική απόκτηση ενός γρήγορα συγκλίνοντα και αξιόπιστου αλγόριθμου για μη γραμμική βελτιστοποίηση. Εφόσον η πρώτη μέθοδος λειτουργεί καλύτερα μακριά από το ελάχιστο, ενώ η δεύτερη κοντά σε αυτό, ο αλγόριθμος *Levenberg–Marquardt* επιτρέπει την ομαλή μετάβαση μεταξύ των δύο αυτών μεθόδων με την εξέλιξη της μεθόδου.

Το μοντέλο που προέκυψε από την παλινδρόμηση επιλέχτηκε βάσει των στατιστικών παραμέτρων R^2_{adj} και SEE. Οι υπόλοιπες στατικές αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν από το στατιστικό πακέτο Statgraphics Plus 5.1 [9].

2.4 Θερμοδυναμικές ιδιότητες των υδρατμών στον κορεσμό

Το έλλειμμα πίεσης υδρατμών υπολογίστηκε από την Εξίσωση 1. Η πίεση κορεσμού ορίζεται για το θερμοκρασιακό εύρος -100 ^{o}C έως 0 ^{o}C από την Εξίσωση 2, και για θερμοκρασιακό εύρος 0 ^{o}C έως 200 ^{o}C από την Εξίσωση 3 [10].

$$\Delta P = P_s^{surf} - P_v^{air} = P_s^{surf} \times \left(1 - \frac{65}{100}\right) \tag{1}$$

$$P_s = \exp\left(\frac{-5674.5359}{T} + 6.3925247 - 0.009677843 \cdot T + 0.62215701 \cdot 10^{-6} \cdot T^2 + 0.20747825 \cdot 10^{-8} \cdot T^3 - 0.9484024 \cdot 10^{-12} \cdot T^4 + 4.1635019 \cdot \ln(T)\right) \tag{2}$$

$$P_s = \exp\left(\frac{-5800.2206}{T} + 1.3914993 - 0.048640239 \cdot T\right.$$
$$\left. +0.41764768 \cdot 10^{-4} \cdot T^2 - 0.14452093 \cdot 10^{-7} \cdot T^3 + 6.5459673 \cdot \ln(T)\right) \qquad (3)$$

όπου, T είναι η θερμοκρασία του ψύχοντα αέρα (K).

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΧΟΛΙΑ

3.1 Μελέτη της απώλειας μάζας (αφυδάτωση) κατά την κατάψυξη

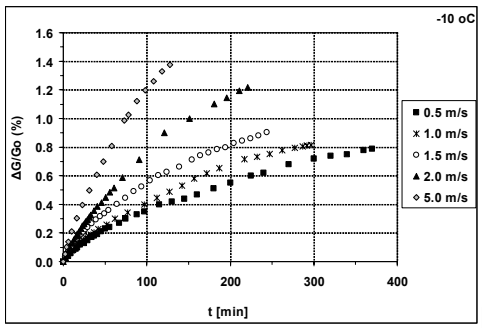
Η απώλεια μάζας κατά την κατάψυξη ασυσκεύαστων τροφίμων με ρεύμα αέρα μπορεί να περιοριστεί τόσο περισσότερο όσο πιο ταχεία είναι η κατάψυξη. Για ασυσκεύαστα προϊόντα, οι απώλειες μάζας κυμαίνονται συνήθως μεταξύ 1 και 2 % ή και περισσότερο αναλόγως των συνθηκών [11]. Όσο ψυχρότερος είναι ο ψύχων αέρας τόσο λιγότερη υγρασία μπορεί να κατακρατήσει πριν καταστεί κορεσμένος.

Η τάση ατμών του ψύχοντα αέρα για τις τρεις θερμοκρασίες (-10, -18, -25) ^oC ήταν 0.169 kPa, 0.081 kPa και 0.041 kPa αντίστοιχα, και σε όλες τις περιπτώσεις πολύ μικρότερη της τάσεως ατμών του τριπλού σημείου (0.0099 ^oC, 0.61 kPa) [12]. Σύμφωνα με το διάγραμμα (P – T) του νερού, και στις τρεις θερμοκρασίες ο ψύχων αέρας βρισκόταν εντός της περιοχής της αέριας φάσης και κάτω από το τριπλό σημείο. Σε αυτές τις συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσης ατμών σύμφωνα με τον Roos [12] παρατηρείται απευθείας μετατροπή του διαμορφούμενου πάγου σε ατμό (εξάχνωση) κάτι το οποίο επιδιώκεται σε τεχνικές αφυδάτωσης με κατάψυξη (freeze–drying).

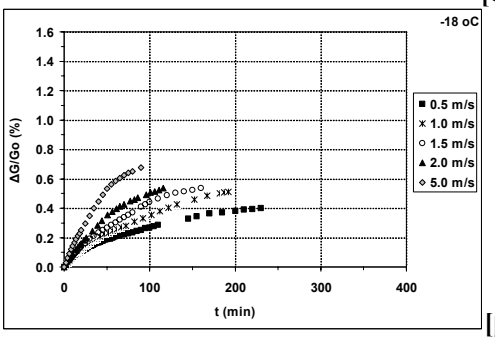
Η απώλεια μάζας κατά την κατάψυξη επηρεάζεται από τρεις παράγοντες, τη θερμοκρασία, την ταχύτητα του ψύχοντα αέρα και την απόλυτη υγρασία του. Επειδή η τελευταία διατηρήθηκε σταθερή σε όλες τις περιπτώσεις, μόνο οι δύο άλλοι παράγοντες μελετήθηκαν για την επίδρασή τους στην απώλεια μάζας. Στα Σχήματα 3.α–γ φαίνεται η επίδραση της ταχύτητας και της θερμοκρασίας του αέρα στην αδιάστατη απώλεια μάζας $(G_o-G_t)/G_o$ (%). Από τη μελέτη αυτών παρατηρήθηκε ότι για τις θερμοκρασίες ψύχοντα αέρα -10 ^oC και -18 ^oC, η απώλεια μάζας για ταχύτητα αέρα 5.0 m/s ήταν 180% αυτής για ταχύτητα 0.5 m/s. Αυτή η συσχέτιση δεν ισχύει στους -25 ^oC (Σχήμα 3.γ) όπου η απώλεια μάζας για ταχύτητα αέρα 5.0 m/s ήταν 80% αυτής για ταχύτητα 0.5 m/s.

Αυτή η ασυμφωνία μπορεί να εξηγηθεί παρατηρώντας το Σχήμα 4, όπου η θερμοκρασία της επιφανείας του δείγματος διέρχεται από τη ζώνη κρυσταλλοποίησης [-0.5 ^oC με -5 ^oC] [11] ταχύτατα με συνέπεια ο επιφανειακός πάγος που δημιουργείται να αποτρέπει την απώλεια μάζας σε αντίθεση με τις άλλες ταχύτητες όπου η διάρκεια κρυσταλλοποίησης είναι σαφώς μεγαλύτερη. Για να υπάρξει ένα μέτρο σύγκρισης αυτής της ταχύτατης διόδου, για μεν την ταχύτητα 5 m/s ήταν ~25 min ενώ για ταχύτητα 0.5 m/s ήταν 5 φορές μεγαλύτερη ~125 min.

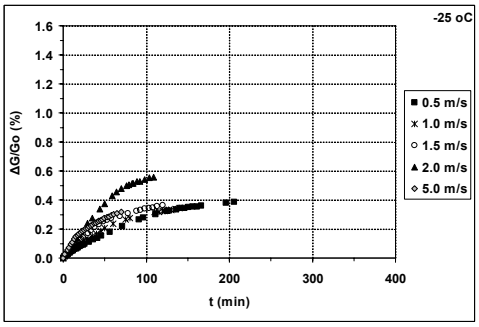
Η πολυπαραγοντική ανάλυση της διασποράς (ANOVA) έδειξε ότι και οι δύο παράγοντες, θερμοκρασία, T_α και ταχύτητα, V_α του ψύχοντα αέρα είχαν στατιστικά σημαντική (p=0.05) επίδραση στην αδιάστατη απώλεια μάζας του προϊόντος. Η μέθοδος πολλαπλών συγκρίσεων (*Duncan test*) (p=0.05) διέκρινε τις πέντε ταχύτητες σε δύο ομάδες (0.5, 1.0, 1.5) m/s και (2, 5) m/s στις οποίες δεν εμφανίζονται στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των ταχυτήτων της ιδίας ομάδας.



[α]

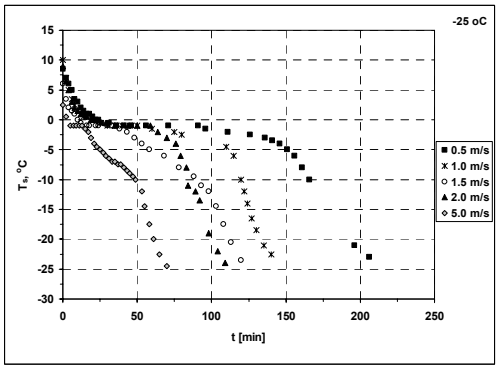


[β]



[γ]

Σχήμα 3. Μεταβολή της απώλειας μάζας (%) με το χρόνο για τις ταχύτητες και θερμοκρασίες του ψύχοντα αέρα; [α] -10 ^{o}C, [β] -18 ^{o}C, [γ] -25 ^{o}C



Σχήμα 4. Μεταβολή της θερμοκρασίας επιφανείας του δείγματος για διάφορες ταχύτητες του ψύχοντα αέρα και θερμοκρασία κατάψυξης -25 ^{o}C.

Η εφαρμογή της ιδίας ανάλυσης στις θερμοκρασίες κατάψυξης, έδειξε ότι οι -25 °C και -18 °C είχαν μη σημαντική στατιστικά διαφορά όσον αφορά την απώλεια μάζας.

3.2 Μοντέλο πρόβλεψης της απώλειας μάζας

Η μεταφορά μάζας από το καταψυχόμενο δείγμα προσεγγίστηκε με το νόμο της διάχυσης του *Fick*. Έτσι η πυκνότητα ροής των υδρατμών από την επιφάνεια του προϊόντος μέσω του οριακού στρώματος προς τον ψύχοντα αέρα, περιγράφεται από την Εξίσωση 3.1.

$$i_m = \frac{D_{va}}{R_v \cdot T_f} \cdot \frac{\Delta P_v}{\overline{\delta_d}} \tag{3.1}$$

όπου, i_m η πυκνότητα ροής υδρατμών [kg/m^2 s], D_{va} ο συντελεστής διάχυσης των υδρατμών στον αέρα [m^2/s], R_v η σταθερά των υδρατμών ίση με 461.52 [J/kg K], T_f η μέση θερμοκρασία του οριακού στρώματος [K], ΔP_v το έλλειμμα πίεσης υδρατμών [kPa] και $\overline{\delta}_d$ το μέσο πάχος του οριακού διαχυτικού στρώματος (m) που δίνεται από την Εξίσωση 3.2 (R^2_{adj} =92.65% και *SEE*=0.183).

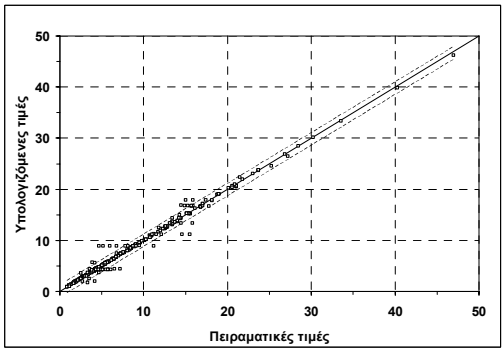
$$\overline{\delta}_d = \left[2.075 - 1.616 \cdot \exp\left(-4.138 \cdot 10^7 \cdot \overline{\mathrm{Re}}^{\,-2.169} \right) \right] \cdot 10^{-2} \tag{3.2}$$

Αντικαθιστώντας τις τιμές των επιμέρους παραμέτρων στην Εξίσωση 3.1 υπολογίστηκαν οι τιμές του i_m για τις διάφορες πειραματικές περιπτώσεις. Η στατιστική ανάλυση της Εξίσωσης 3.1 ως προς τις πειραματικές τιμές i_m έδωσαν για το εύρος των πειραματικών συνθηκών μία ικανοποιητική συσχέτιση η οποία μεταφράζεται σε R^2_{adj} =82.09% και RMSE=28.24%.

Για την βελτίωση της πρόβλεψης της πυκνότητας ροής των υδρατμών, πραγματοποιήθηκε ανάλυση της διακύμανσης (ANOVA) της i_m ως προς μία σειρά πειραματικών μεταβλητών (ανεξάρτητες). Από τη στατιστική ανάλυση προέκυψε η Εξίσωση (3.3) οποία ουσιαστικά είναι μία τροποποίηση της Εξίσωσης 3.1.

$$i_m = \left(0.078 + 16.614 \cdot \frac{\Delta P_v}{\overline{\delta_d}} \cdot 10^{-5} - 4.338 \cdot 10^{-4} \cdot \mathrm{Re} + 1.395 \cdot V \right) \cdot 10^{-6} \tag{3.3}$$

όπου, $\overline{\delta_d}$ είναι το μέσο οριακό διαχυτικό στρώμα [cm], και V είναι η ταχύτητα του ψύχοντα αέρα [m/s].



Σχήμα 5. Πειραματικές τιμές της i_m έναντι υπολογιζόμενων από την Εξίσωση 3.3.

Σε όλες τις παραμέτρους της Εξίσωσης 3.3 η p–τιμή του F–τεστ είναι μικρότερη από 0.01 υποδεικνύοντας σημαντική στατιστική συσχέτιση μεταξύ της μεταβλητής i_m και

των ανεξάρτητων μεταβλητών $\left(\Delta P_v / \overline{\delta_d}\,,\ \mathrm{Re},\ V\right)$ σε επίπεδο σημαντικότητας 99%. Ο συντελεστής συσχέτισης της Εξίσωσης 3.3 ως προς τις πειραματικές τιμές i_m είναι R^2_{adj}=99.01% ενώ το τυπικό σφάλμα απόκλισης, SEE=1.913 και το υπολογιζόμενο σφάλμα είναι RMSE=6.05%.

Αν οι πειραματικές τιμές της πυκνότητας ροής των υδρατμών συγκριθούν με τις υπολογιζόμενες από την Εξίσωση 3.3 προκύπτει το Σχήμα 5. Σε αυτό περιλαμβάνονται επίσης τα όρια πρόβλεψης (p=0.05).

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην εργασία αυτή μελετήθηκε η αφυδάτωση καταψυχόμενου αγγουριού σε τρεις θερμοκρασίες και πέντε ταχύτητες του ψύχοντα αέρα. Τα αποτελέσματα αυτής της μελέτης έδειξαν ότι και οι δύο παράγοντες, θερμοκρασία, T_α και ταχύτητα, V_α του ψύχοντα αέρα έχουν στατιστικά σημαντική (p=0.05) επίδραση στην απώλεια μάζας του προϊόντος (αδιάστατη), ενώ οι ταχύτητες του αέρα χωρίζονται σε δύο ομάδες (0.5, 1.0, 1.5) m/s και (2, 5) m/s όπου δεν εμφανίζονται στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των ταχυτήτων της ιδίας ομάδας αλλά μόνο μεταξύ των ομάδων. Αντιθέτως στις θερμοκρασίες κατάψυξης οι -25 ^{o}C και -18 ^{o}C δεν παρουσιάζουν σημαντική στατιστικά διαφορά στην απώλεια μάζας.

Τέλος, η πυκνότητα απώλειας μάζας περιγράφεται μαθηματικά με πολύ υψηλό συντελεστή συσχέτισης R^2_{adj}=99.01%. Η σχέση αυτή είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για την πρόβλεψη της αφυδάτωσης ασυσκεύαστου αγγουριού λαμβάνοντας υπόψη τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του δείγματος καθώς και τις συνθήκες κατάψυξης (θερμοκρασία, ταχύτητα αέρα και σχετική υγρασία). Μελλοντικά το εν λόγω μοντέλο θα μελετηθεί και σε άλλα προϊόντα παρόμοιας ή διαφορετικής γεωμετρίας ως προς την ακρίβεια της πρόβλεψης της απώλειας μάζας.

5. ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η έρευνα αυτή κατέστη δυνατή χάρις στην χρηματοδότηση του προγράμματος ***Πυθαγόρας*** από το ΥΠ.Ε.Π.Θ. και την Ε.Ε.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Winger R.J., 1990. Storage and eating–related quality of NZ frozen lamb: A Compendium of irrepressible longevity In: *Thermal Processing and Quality of Foods,* P. Zeuthen *et el*. (Eds.). Elsevier, London. pp. 541–552.
2. Storey R.M., Graham J., 1981. Mechanism and measurement of weight loss from frozen fish in cold storage. *Proceedings Institute of Refrigeration*, **78:** 28–35.
3. Delgado A.E., Sun D.–W., 2001. Heat and mass transfer models for predicting freezing processes review. *Journal of Food Engineering*. **47:** 157–174.
4. Lambrinos G.P., Aguirre Puente J., 1983. Dehydratation des milieux dispersés congelés. Influence des Conditions d' entreposage sur les pertes de masse. Proceedings of the XVI International Congress of Refrigeration, Vol. 2, *International Institute of Refrigeration*, pp. 567–573.
5. Aguirre Puente J., Sukhwal R. N., 1983. Sublimation of ice in frozen dispersed media. In: *Proceedings of the Third International Offshore Mechanics and Arctic Engineering Symposium*. American Society of Mechanical Engineers, pp. 38–44.

6. Campañone L.A., Roche L.A., Salvadori V.O., Mascheroni R.H., 2002. Monitoring of weight losses in meat products during freezing and frozen storage. *International Food Science Technology*. **8:** 229–238.
7. Levenberg K., 1944. A method for the solution of certain problems in least squares. *Quarterly of Applied Mathematics*. **2:** 164–168.
8. Marquardt D., 1963. An algorithm for least–square estimation of nonlinear parameters. SIAM, *Journal of Applied Mathematics*. **11:** 431–441.
9. Statgraphics Plus 5.1, 2001. Online manual, Statistical graphics corp.
10. Wexler, A. & Hyland, R. W., 1980. A formulation for the thermodynamic properties of the saturated pure ordinary water–substance from 173.15 to 473.15 K. *Ashrae Research Project,* report 216.
11. IIR, 1986. Recommendations for the processing and handling of frozen foods, France.
12. Roos H. Y., 1995. *Phase transitions in foods*, 1st ed. Academic Press, London UK, 73–83 pp.

(137)

ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΜΗΛΩΝ ΜΕ ΤΗΝ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΚΑΙ ΤΟΝ ΧΡΟΝΟ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ

Ν. Πεντάρης[1], Ε. Μανωλοπούλου[2], Γ. Ξανθόπουλος[1], Δ. Μητρόπουλος[1] και Γρ. Λαμπρινός[1]

[1]Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Α.Φ.Π. & Γ.Μ., Ιερά Οδός 75, 11855 Αθήνα, e–mail: refrigenergy@aua.gr

[2]Τ.Ε.Ι. Καλαμάτας, Σχολή Τ.Ε.Γ., Τμήμα Φ.Π., Αντικάλαμος–Καλαμάτα, 24100, e–mail: e.manolopoulou@teikal.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Πειραματικές διατρήσεις με αναλυτή μηχανικών ιδιοτήτων, έγιναν σε μήλα ποικιλιών Granny Smith και Pilafa Delicious κατά την διάρκεια συντήρησης τους σε τρείς διαφορετικές θερμοκρασίες (0°C, 10°C, 20°C) και για δυο καλλιεργητικές χρονιές (2002-2003 και 2003-2004) για να εντοπιστεί ο βαθμός συσχέτισης των μηχανικών ιδιοτήτων με τον χρόνο και την θερμοκρασία συντήρησης των μήλων. Μετά από στατιστική ανάλυση διαπιστώθηκε πως οι μηχανικές ιδιότητες των μήλων των δυο καλλιεργητικών περιόδων (για την ίδια θερμοκρασία και για αντίστοιχο χρόνο συντήρησης) δεν παρουσίασαν σημαντική στατιστικά διαφορά, γεγονός που μας δίνει την δυνατότητα εκτίμησης της μελλοντικής εξέλιξης της μηχανικής συμπεριφοράς και κατ' επέκταση της συντηρησιμότητας των μήλων εντός του θαλάμου συντήρησης. Συμπερασματικά οι ρυθμοί μεταβολής των μηχανικών ιδιοτήτων στα μήλα Pilafa Delicious είναι πολύ πιο μικροί σε σύγκριση με τα μήλα Granny Smith τα οποία δείχνουν να επηρεάζονται πολύ πιο έντονα από την θερμοκρασία συντήρησης.

CHANGES OF APPLES MECHANICAL PROPERTIES WITH TEMPERATURE AND STORAGE TIME

N. Pentaris[1], E. Manolopoulou[2], G. Xanthopoulos[1], D. Mitropoulos[1] and Gr. Lambrinos[1]

[1]Agricultural University of Athens, Dept. of Natural Resources Management and Agricultural Engineering, 75 Iera Odos street, 11855 Athens

[2]T.E.I. of Kalamata, Dept. of Crop production, 24100 Antikalamos, Kalamata, Greece

ABSTRACT

Experimental puncture tests on two apple varieties (Granny Smith and Pilafa Delicious) were carried out employing a Texture Analyzer during two cultivation periods and for three storage temperatures (0°C, 10°C, 20°C) in order to correlate the mechanical properties of apples with their storage time and temperatures. The statistical analysis revealed that the mechanical properties of the tested apples during these two cultivated periods for the same temperature and the respective storage time didn't exhibit statistical significant differences. The variation rate of Pilafa Delicious mechanical properties is very low compared to Granny Smith's ones which seem to be influenced from the storage temperature. The derived correlations between the mechanical properties and the storage time help to estimate the storability of stored apples.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Εδώ και χρόνια η επιστήμη της τεχνολογίας τροφίμων χρησιμοποιεί τις μηχανικές ιδιότητες των τροφίμων στον ποιοτικό έλεγχο. Μηχανική ιδιότητα ονομάζουμε κάθε ιδιότητα που έχει να κάνει με την συμπεριφορά του υλικού όταν του ασκείται δύναμη [1]. Οι Meilgaard et al [2] έχουν κατηγοριοποιήσει τις μηχανικές ιδιότητες των τροφίμων όταν γίνεται μια δοκιμή (sensory evaluation), σε διάφορες ομάδες (σκληρότητα, συνεκτικότητα, συγκολλητικότητα, ελαστικότητα κλπ.). Τα τρόφιμα λόγω της ιδιαίτερης φύσης τους [3] έχουν ιδιαίτερα χαρακτηριστική δομή και συμπεριφορά. Όλα αυτά τα στοιχεία καθιστούν την μελέτη των μηχανικών ιδιοτήτων στα βιολογικά υλικά μια επίπονη προσπάθεια, που απαιτεί ταυτόχρονη παρακολούθηση και καταγραφή πολλών μεταβλητών. Σύμφωνα με τον Bourne [4] οι παράγοντες που επηρεάζουν τις φυσικές και κατ'επέκταση τις μηχανικές ιδιότητες των φυτικών καρπών είναι: η φύση του προϊόντος, η ποικιλία, η φυσιολογική ωριμότητα, το μέγεθος, οι προηγηθείσες καλλιεργητικές πρακτικές και οι συνθήκες συντήρησης. Συνεπώς, η γνώση και μόνο των μηχανικών ιδιοτήτων μπορεί να δώσει στον παραγωγό μια καλή ιδέα για το ιστορικό ενός καρπού, για αξιολογήσει την ποιότητα του [5]. Σκοπός της εργασίας αυτής είναι η μελέτη της μεταβολής των μηχανικών ιδιοτήτων μήλων (επιλέχθηκαν τα Granny Smith και τα Pilafa Delicious, που είναι από πλευράς φυσιολογίας διαφορετικές περιπτώσεις) με βάση την θερμοκρασία και τον χρόνο συντήρησης τους σε θερμοκρασίες 0°C, 10°C και 20°C, με στόχο τη δημιουργία μοντέλου πρόβλεψης της μεταβολής των μηχανικών ιδιοτήτων.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1 Φυτικό υλικό

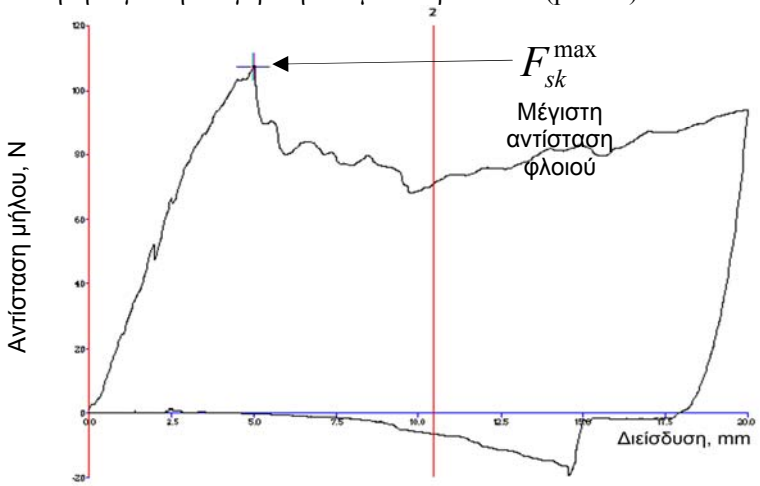
Μήλα (ποικιλιών Pilafa Delicious και Granny Smith) για δυο διαδοχικές χρονιές συλλέχθηκαν από την περιοχή Τεγέας Αρκαδίας και μεταφέρθηκαν στο Τ.Ε.Ι. Καλαμάτας και στο Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών. Κατά την εισαγωγή τους στο εργαστήριο πλύθηκαν, διαλέχτηκαν, ομαδοποιήθηκαν σε ομάδες των 20 μήλων και τοποθετήθηκαν σε θαλάμους ελεγχόμενης θερμοκρασίας και υγρασίας. Οι ψυκτικοί θάλαμοι είχαν θερμοκρασία 0°C, 10°C και 20°C (η καταγραφή θερμοκρασίας και υγρασίας έγινε με συσκευές HOBO). Η μέση σχετική υγρασία των θαλάμων κυμαινόταν στο 85%.

2.2 Χειρισμός του αναλυτή μηχανικών ιδιοτήτων

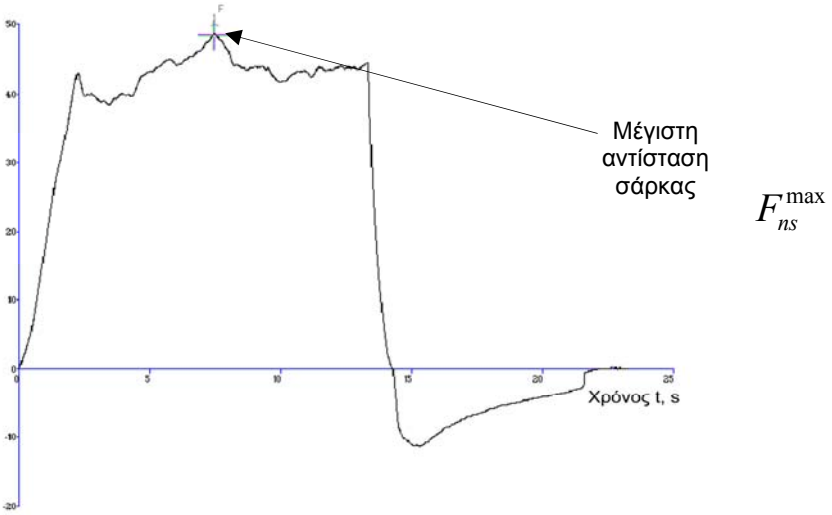
Η αντίσταση στη διείσδυση (σκληρότητα) μετρήθηκε αφού προσαρμόστηκε στο κατακόρυφα κινούμενο στέλεχος του αναλυτή κυλινδρικό στέλεχος διείσδυσης διαμέτρου 11 mm. Οι μετρήσεις γινόντουσαν σε ομάδες των δέκα μήλων, η δε διείσδυση γινόταν σε τέσσερα αντιδιαμετρικά σημεία του ισημερινού τους, δύο με φλοιό και δύο χωρίς φλοιό. Κάθε μήλο αφού έβγαινε από τον ψυκτικό θάλαμο του και έφτανε σε θερμοκρασία 15°C ετοποθετείτο στην μεταλλική βάση, ενεργοποιείτο η συσκευή και το κινούμενο στέλεχος κινείτο προς το μήλο με ταχύτητα 4 mm·s^{-1}. Την στιγμή που ακουμπούσε το μήλο η ταχύτητα μειωνόταν σε 1.5 mm·s^{-1} και ακολουθούσε η διείσδυση μέχρι βάθος 20 mm. Κατά την έξοδο του στελέχους διείσδυσης, η ταχύτητα άλλαζε και γινόταν 2 mm·s^{-1}. Τα μεγέθη που εξετάστηκαν πάνω στο καταγραφόμενο διάγραμμα αυτού του χειρισμού ήταν η μέση κλίση αντίστασης/βάθους διείσδυσης ε σε N·s^{-1} ή N·mm^{-1}, η μέγιστη αντίσταση του φλοιού $F_{sk}^{\max}$ σε N (Σχ. 1), η μέγιστη αντίσταση της σάρκας $F_{ns}^{\max}$ σε N (Σχ. 2) και το μηχανικό έργο E σε N·mm (mJ) που απαιτήθηκε για

να ολοκληρωθεί η διαδικασία (Σχ. 3). Η γραμμοσκιασμένη επιφάνεια στο Σχήμα 3 είναι η συνολική ενέργεια που απορροφήθηκε κατά την διείσδυση. Επειδή η ταχύτητα εισόδου και εξόδου του στελέχους είναι γνωστή, η επιφάνεια από N·s μετατρέπεται εύκολα σε μονάδες N·mm που εκφράζουν την μηχανική ενέργεια που απαιτήθηκε για τη διείσδυση. Οι μετρήσεις/καταγραφές έγιναν σε τακτά χρονικά διαστήματα σε ομάδες για κάθε θερμοκρασία συντήρησης.

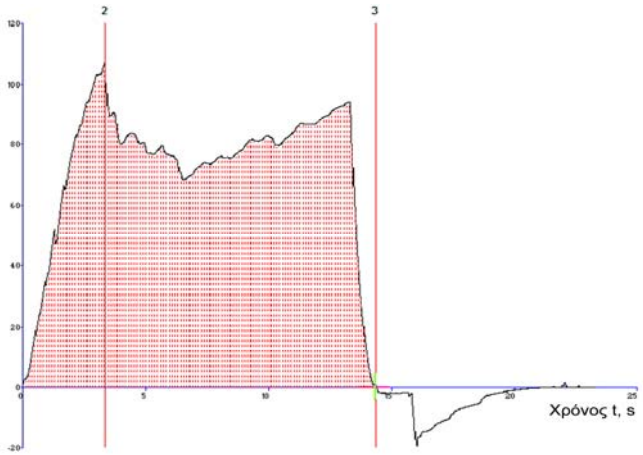
Τα πειραματικά δεδομένα υπέστησαν στατιστική επεξεργασία με ανάλυση της παραλλακτικότητας (ANOVA) και γραμμική παλινδρόμηση με το στατιστικό λογισμικό STAGRAPHICS Centurion XV. Η ελάχιστη σημαντική διαφορά (LSD) που χρησιμοποιήθηκε για την σύγκριση των μέσω όρων είναι (p=0.05).



Σχήμα 4. Γραφική απεικόνιση της αντίστασης μήλου με φλοιό, ποικιλίας Granny Smith (0 °C, 56 ημέρες συντήρηση). Η διαδικασία για τον εντοπισμό της συγκεκριμένης θέσης (σταυρός) είναι αυτοματοποιημένη με μακροεντολή στο πρόγραμμα TEE32 (Exponent Stable Micro Systems).



Σχήμα 5. Γραφική απεικόνιση της αντίστασης σάρκας μήλου (χωρίς φλοιό), ποικιλίας Pilafa Delicious (10 °C, 27 ημέρες συντήρηση), ως προς τον χρόνο.

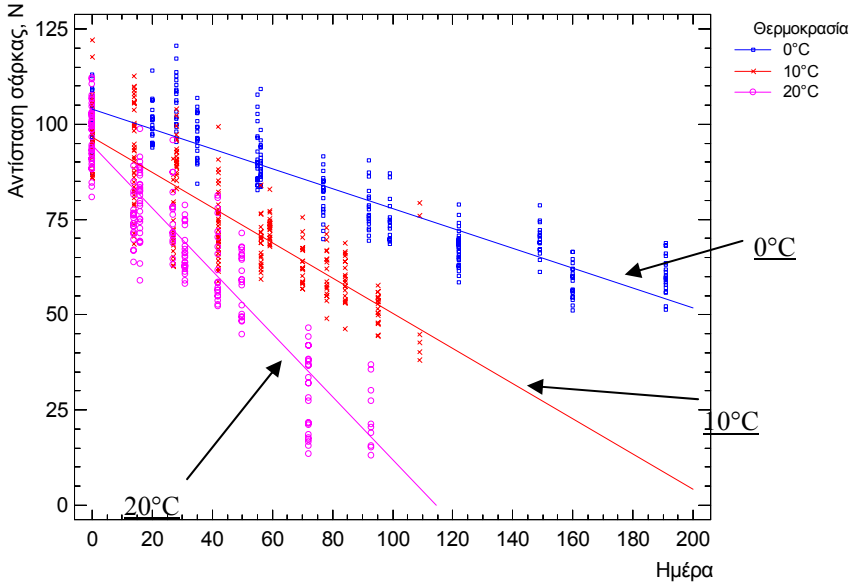


Σχήμα 6. Γραφική απεικόνιση της αντίστασης σάρκας μήλου με φλοιό, ποικιλίας Granny Smith (0 °C, 56 ημέρες συντήρηση), ως προς τον χρόνο.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Η μεταβολή όλων των μηχανικών ιδιοτήτων (μέγιστη αντίσταση του μήλου στη διείσδυση με επιδερμίδα, μέγιστη αντίσταση στη διείσδυση της σάρκας του μήλου, κλίση της δύναμης αντίστασης και απαιτούμενη μηχανική ενέργεια για τη διείσδυση) εμφανίζει και στις δύο ποικιλίες γραμμική μεταβολή με το χρόνο συντήρησης (σχ. 4.) και στις τρείς θερμοκρασίες συντήρησης της μορφής:

$$f(t) = a + b \cdot t \qquad (1)$$



Σχήμα 4. Συγκριτικό διάγραμμα με τις γραμμές παλινδρόμησης της μέγιστης αντίστασης σάρκας Granny Smith στις θερμοκρασίες συντήρησης (0°C, 10°C, 20°C).

Διαπιστώθηκε πως όσο πιο χαμηλή είναι η θερμοκρασία συντήρησης, τόσο το R^2 είναι υψηλότερο. Για τις θερμοκρασίες συντήρησης των 0°C και 20°C στα μήλα Pilafa Delicious, μετά από t-test διαπιστώθηκε πως οι μέσες τιμές των περισσοτέρων μηχανικών ιδιοτήτων μεταξύ των δύο σειρών παρουσιάζουν σημαντική διαφορά, και γι'αυτό οι γραμμικές συσχετίσεις παρατίθενται χωριστά.

Η μέγιστη αντίσταση της επιδερμίδας εκφράζεται με τη μορφή:

$$F_{sk}^{\max} = a_{sk} + b_{sk} \cdot t \text{ , σε N} \qquad (2)$$

Όπου: t είναι ο χρόνος συντήρησης μέσα στον ψυκτικό θάλαμο, σε ημέρες.

a_{sk} και b_{sk} είναι συντελεστές όπου καθορίζονται από την αρχική συνθήκη ποιότητας (αρχική τιμή της μηχανικής ιδιότητας) και την θερμοκρασία συντήρησης. Οι τιμές των συντελεστών αυτών της σχέσης (2) για τις ποικιλίες των μήλων που μελετήθηκαν παρουσιάζονται στον πίνακα 1.

Πίνακας 9. Οι τιμές των συντελεστών απλής γραμμικής παλινδρόμισης της μέγιστης αντίστασης της επιδερμίδας με τον χρόνο συντήρησης, για τις ποικιλίες Granny Smith και Pilafa Delicious.

$F_{sk}^{\max} = a_{sk} + b_{sk} \cdot t$								
Θ°C	**Granny Smith**				**Pilafa Delicious**			
	Έτος	**R^2**	**a_{sk}**	**b_{sk}**	**Έτος**	**R^2**	**a_{sk}**	**b_{sk}**
0	2002-2003 & 2003-2004	0.6653	118.171	-0.2667	2002-2003	0.5555	88.370	-0.175
					2003-2004	0.5137	96.074	-0.194
10	2002-2003 & 2003-2004	0.4160	109.603	-0.3546	2002-2003 & 2003-2004	0.2915	77.416	-0.234
20	2002-2003 & 2003-2004	0.6769	119.819	-0.7394	2002-2003	0.4673	92.521	-0.446
					2003-2004	0.4263	82.072	0.048

Η εξέλιξη της μέγιστης αντίστασης της σάρκας του μήλου με τον χρόνο συντήρησης έχει επίσης γραμμική μορφή:

$$F_{ns}^{\max} = a_{ns} + b_{ns} \cdot t \text{ , σε N} \qquad (3)$$

Πίνακας 10. Οι τιμές των συντελεστών της μέγιστης αντίστασης της σάρκας με τον χρόνο συντήρησης των ποικιλιών Granny Smith και Pilafa Delicious.

$F_{ns}^{\max} = a_{ns} + b_{ns} \cdot t$								
Θ°C	**Granny Smith**				**Pilafa Delicious**			
	Έτος	**R^2**	**a_{ns}**	**b_{ns}**	**Έτος**	**R^2**	**a_{ns}**	**b_{ns}**
0	2002-2003 & 2003-2004	0.8272	103.998	-0.2616	2002-2003	0.6296	79.245	-0.284
					2003-2004	0.6915	93.300	-0.317
10	2002-2003 & 2003-2004	0.7110	96.667	-0.4625	2002-2003 & 2003-2004	0.5341	64.572	-0.348
20	2002-2003 & 2003-2004	0.8454	94.545	-0.8247	2002-2003	0.4351	73.224	-0.369
					2003-2004	0.2089	62.946	-0.026

Εξαιρετικό ενδιαφέρον παρουσιάζει η μηχανική ενέργεια που απαιτεί το στέλεχος του οργάνου για να ολοκληρώσει την διάτρηση (διείσδυση) του μήλου. Οι τιμές του R^2 είναι υψηλές σε όλο το φάσμα των θερμοκρασιών και για τις δύο ποικιλίες.

$$E = a_{en} + b_{en} \cdot t \text{ , σε mJ} \qquad (4)$$

Πίνακας 11. Οι τιμές των συντελεστών απλής γραμμικής παλινδρόμησης της μηχανικής ενέργειας που απαιτήθηκε για τη διείσδυση σε βάθος 20 mm μήλων, ποικιλίας Granny Smith και Pilafa Delicious.

$E = a_{en} + b_{en} \cdot t$								
Θ°C	**Granny Smith**				**Pilafa Delicious**			
	Έτος	**R^2**	**a_{en}**	**b_{en}**	**Έτος**	**R^2**	**a_{en}**	**b_{en}**
0	2002-2003 & 2003-2004	0.8126	1700.4	-4.3591	2002-2003	0.7437	1382.3	-4.9223
					2003-2004	0.7458	1554.7	-4.8404
10	2002-2003 & 2003-2004	0.6642	1566.6	-6.5041	2002-2003 & 2003-2004	0.6805	1158.6	-6.9986
20	2002-2003 & 2003-2004	0.8380	1574.6	-11.9014	2002-2003	0.6163	1036.0	-9.3475
					2003-2004	0.6789	1025.8	-4.5183

Η μεταβολή της μέσης κλίσης ε (στα μήλα ποικιλίας Granny Smith) στην ελαστική φάση του φλοιού, έχει την ίδια συμπεριφορά με την απορροφούμενη μηχανική ενέργεια (σχεδόν διπλασιασμός της κλίσης για κάθε αύξηση της θερμοκρασίας κατά 10°C), κάτι που δεν ισχύει και για τα μήλα Pilafa Delicious.

$$\varepsilon = a_{sr} + b_{sr} \cdot t \text{ , σε } N \cdot mm^{-1} \quad (5)$$

Πίνακας 12. Οι τιμές των συντελεστών απλής γραμμικής παλινδρόμησης της μέσης κλίσης ε της μεταβολής της αντίστασης της επιδερμίδας στην ελαστική περιοχή του φλοιού, για τις ποικιλίες Granny Smith και Pilafa Delicious.

$\varepsilon = a_{sr} + b_{sr} \cdot t$								
Θ°C	**Granny Smith**				**Pilafa Delicious**			
	Έτος	**R^2**	**a_{sr}**	**b_{sr}**	**Έτος**	**R^2**	**a_{sr}**	**b_{sr}**
0	2002-2003 & 2003-2004	0.6601	27.088	-0.055	2002-2003	0.5781	20.150	-0.074
					2003-2004	0.7477	28.837	-0.099
10	2002-2003 & 2003-2004	0.5860	26.603	-0.110	2002-2003 & 2003-2004	0.6737	20.509	-0.142
20	2002-2003 & 2003-2004	0.7425	25.529	-0.210	2002-2003	0.4724	8.494	-0.117
					2003-2004	0.6214	13.437	-0.175

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Το γεγονός πως όλες οι μηχανικές ιδιότητες που καταγράφηκαν παρουσιάζουν πτώση είναι αναμενόμενο διότι είναι άμεσα συσχετισμένες με την περιεχόμενη υγρασία, την ακεραιότητα των κυτταρικών μεμβρανών, την σπαργή των κυττάρων του καρπού [5] και την εξέλιξη των πηκτινικών ενώσεων.

Τα συμπεράσματα που θα μπορούσαν να εξαχθούν είναι:

- Τόσο στα Granny Smith όσο και στα Pilafa Delicious, υπάρχει μεταφορά μάζας νερού από τον πυρήνα του μήλου προς τα έξω με ρυθμό που εξαρτάται από την θερμοκρασία του καρπού, το έλλειμμα πίεσης υδρατμών στον χώρο συντήρησης, το πάχος του οριακού στρώματος γύρω από τον καρπό και από την αντίσταση που προβάλλει κάθε κυτταρική στρώση του μήλου στο φαινόμενο της προς τα έξω διάχυσης των υδρατμών. Αυτό διαπιστώνεται από την διαφοροποίηση των ρυθμών μεταβολής των αντίστοιχων μηχανικών ιδιοτήτων που υπάρχει μεταξύ των διαφόρων θερμοκρασιών συντήρησης.
- Στις υψηλές θερμοκρασίες παρατηρείται μια εντονότερη μεταβολή της μέγιστης αντίστασης επιδερμίδας και σάρκας.
- Η μηχανική ενέργεια που απαιτείται για να πραγματοποιηθεί η διείσδυση στην σάρκα του μήλου δείχνει πως είναι η πλέον αξιόπιστη μηχανική ιδιότητα ανεξαρτήτως ποικιλίας μήλου και θερμοκρασιών.

- Οι μεταβολές των μηχανικών ιδιοτήτων των Pilafa Delicious και των Granny Smith δεν παρουσιάζουν κάποια ομοιότητα μεταξύ τους. Το αίτιο της διαφοροποίησης πρέπει να αναζητηθεί στην δομή της επιδερμίδας. Τα Granny Smith διαθέτουν επιπλέον κηρώδη επίστρωση που εμποδίζει την ταχεία απομάκρυνση της εσωτερικής υγρασίας, αντίθετα στα Pilafa Delicious αυτή η στρώση απουσιάζει (διαφορετική δομή).

Είναι νωρίς για να μιλήσουμε για ένα ενιαίο μοντέλο που θα συσχετίζει κάποια μηχανική ιδιότητα στα μήλα (ανεξαρτήτως ποικιλίας) με τον χρόνο συντήρησης. Ωστόσο για κάθε ποικιλία μήλου και θερμοκρασία ξεχωριστά, υπάρχει η δυνατότητα να προβλεφθούν ικανοποιητικά οι μηχανικές ιδιότητες με την προϋπόθεση πως δίνεται ως δεδομένο η μηχανική του ιδιότητα σε κάποιο χρονικό σημείο (συνήθως στην έναρξη της συντήρησης).

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. A. S. Szczesniak. 1983. Physical Properties of Foods: What they are and their relation to other food properties. ift Basic Symposium Series, Physical Properties of Foods. Eds. Institute of Food Technologists. 3-37
2. M. Meilgaard, G. V. Civille and B. T. Carr. 1999. Sensory Evaluation Techniques, 3rd Edition, 9-10, 39-41
3. J. M. Aguilera. 2000. Structure-Property Relationships in Foods. Food Preservation Technology Series, Trends in Food Engineering. Eds. J. E. Lozano et al, 1-14
4. M. C. Bourne. 1983. Physical properties and structure of horticultural Crops. IFT Basic Symposium Series, Physical Properties of Foods. Eds. Institute of Food Technologists. 207-227
5. D. D. Hamann. 1983. Structural failure in solid foods. ift Basic Symposium Series, Physical Properties of Foods. Eds. Institute of Food Technologists. 351-381

(138)

ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΧΡΩΜΑΤΟΣ ΣΥΝΤΗΡΟΥΜΕΝΗΣ ΒΙΟΛΟΓΙΚΗΣ ΤΟΜΑΤΑΣ ΜΕ ΑΝΑΛΥΣΗ ΨΗΦΙΑΚΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ

Ε. Χατζής, Σ. Ψυχογυιού, Γ. Ξανθόπουλος και Γρ. Λαμπρινός
Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθήνας, Τμήμα ΑΦΠ & ΓΜ, Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας. Ιερά Οδός 75, Αθήνα, Τ.Κ. 11855,
e–mail: refrigenergy@aua.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της εργασίας αυτής ήταν η μελέτη της δυνατότητας χρήσης ανάλυσης ψηφιακής εικόνας για τον προσδιορισμό της μεταβολής του χρώματος συντηρούμενης βιολογικής τομάτας, κάνοντας παράλληλα και χρήση της κλασσικής μεθόδου χρωματομετρίας με χρωματόμετρο, καθώς και η μαθηματική προτυποποίηση των αποτελεσμάτων της ανάλυσης της ψηφιακής εικόνας. Η ανάλυση των αποτελεσμάτων έδειξε μια καλή συσχέτιση (R^2=89%) της συνολικής μεταβολής του χρώματος (ΔE^*) μεταξύ της κλασσικής μεθόδου της χρωματομετρίας και αυτής με ανάλυση ψηφιακής εικόνας. Έγινε ανάπτυξη σχέσεων μεταξύ της συνολικής μεταβολής του χρώματος (ΔE^*) με τη θερμοκρασία και το χρόνο συντήρησης.

COLOUR VARIATION OF ORGANIC STORED TOMATO BY DIGITAL IMAGE ANALYSIS TECHNIQUE

E. Chatzis, S. Psihoyiou, G. Xanthopoulos and Gr. Lamprinos
Agricultural University of Athens, Department of Natural Resources Development & Agricultural Engineering, 75 Iera Odos Str., 118 55, Athens–Greece, Tel. +3 210 5294029, Fax. +3 210 5294032, e–mail: refrigenergy@aua.gr

ABSTRACT

The objective of this work was to test the applicability of a Digital Image Analysis technique for the determination of the Total Colour Variation (ΔE^*) of organic tomatoes during cold storage, compared to the well–known Chroma Meter. The statistical analysis of the derived results from both techniques, revealed a good correlation (R^2=89%) between these two techniques. Mathematical equations relating the Total Colour Variation (ΔE^*) with storage time and temperature were also developed and reported.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Για την εκτίμηση της ποιότητας των νωπών φυτικών οργάνων χρησιμοποιούνται κριτήρια υποκειμενικά ή αντικειμενικά, καταστροφικά ή μη καταστροφικά. Τα τελευταία χρόνια οι αυξημένες απαιτήσεις για αποτελεσματικότητα, αντικειμενικότητα και ταχύτητα στην ποιοτική αξιολόγηση, ώθησαν στη χρήση κάμερας και ηλεκτρονικών υπολογιστών και κατέστησαν σημαντικό μέσο αξιολόγησης την ανάλυση της ψηφιακής εικόνας για τη μελέτη του χρώματος το οποίο αποτελεί σημαντικό ποιοτικό κριτήριο εκτίμησης του σταδίου ωριμότητας πολλών νωπών φυτικών προϊόντων [1].

Τα πλεονεκτήματα των μεθόδων ποιοτικής αξιολόγησης φρούτων και λαχανικών με ανάλυση ψηφιακής εικόνας και με τη βοήθεια ηλεκτρονικού υπολογιστή είναι, η εξασφάλιση δεδομένων περιγραφής με ακρίβεια και ταχύτητα, η πιστότητα των αποτελεσμάτων, η αυτοματοποίηση των διαδικασιών και η δυνατότητα άμεσης καταγραφής, επιτρέποντας την περαιτέρω ανάλυση των δεδομένων. Τα μειονεκτήματα της μεθόδου είναι κυρίως η απαίτηση κατάλληλου σταθερού τεχνητού φωτισμού και η δυσκολία ταυτοποίησης αντικειμένων που δεν παρουσιάζουν ομοιογένεια [2, 3].

Η βιολογική γεωργία αποτελεί σήμερα ένα διαρκώς αναπτυσσόμενο τομέα της γεωργικής βιομηχανίας και καθώς στηρίζεται σε βιολογικές, φυσικές και μηχανικές τεχνικές συνιστά μια ενδιαφέρουσα εναλλακτική λύση στις συμβατικές εντατικές μεθόδους καλλιέργειας [1]. Η βιολογική καλλιέργεια με την αποφυγή της χρήσης ανόργανων λιπασμάτων και σύνθετων χημικών φυτοφαρμάκων, συμβάλλει στην παραγωγή προϊόντων χωρίς χημικά υπολείμματα – κατά συνέπεια ασφαλέστερων και υγιεινότερων για τον καταναλωτή [4, 5, 16].

Σε ότι αφορά τις τομάτες βιολογικής καλλιέργειας συγκριτικά με συμβατικές, έχει διαπιστωθεί ότι οι πρώτες περιείχαν περισσότερη ξηρά ουσία, ολικά σάκχαρα, βιταμίνη C, φλαβονοειδή και β–καροτίνη, αλλά λιγότερο λυκοπίνιο [7, 8], συστατικό το οποίο καθορίζει και το χρώμα [9].

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1. Πειραματικό υλικό

Ως πειραματικό υλικό χρησιμοποιήθηκε επιτραπέζια βιολογική τομάτα (υβρίδιο: Alma), στάδιο ωριμότητας 2 και 3, brake και turning [10] αντίστοιχα που συλλέχθηκε από τοπικό παραγωγό (Άγιος Στέφανος, Αττικής) και περιελάμβανε δυο πειραματικές σειρές. Οι τομάτες αφού συλλέχθηκαν μεταφέρθηκαν στο εργαστήριο, όπου αμέσως μετά την πραγματοποιήθηκε διαλογή κατά την οποία τραυματισμένοι, εξαιρετικά μεγάλοι και μικροί καθώς και καρποί με ασθένειες απομακρύνθηκαν. Οι τομάτες διαχωριστήκαν σε επτάδες και χωρίς άλλη επεξεργασία τοποθετήθηκαν σε ειδικά πλαστικά τελάρα και σε θαλάμους με θερμοκρασίες 5 ^{o}C, 10 ^{o}C, 15 ^{o}C και 20 ^{o}C.

2.2 Μέτρηση χρώματος

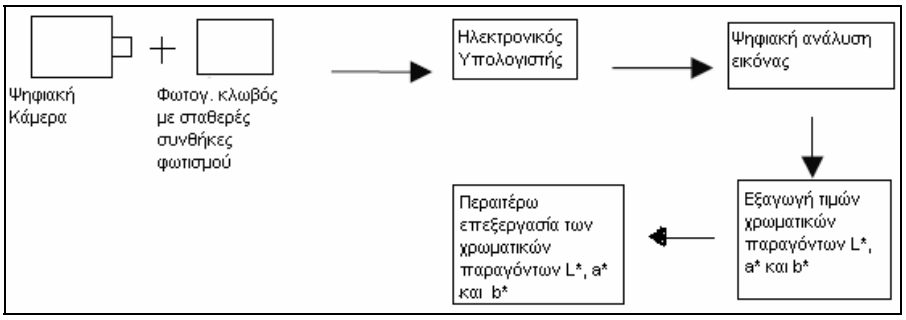
Το χρώμα μετρήθηκε στα δείγματα τομάτας τόσο με την κλασσική τεχνική χρωματομετρίας (χρωματόμετρο MINOLTA CR–300) όσο και με μία νέα τεχνική ανάλυσης ψηφιακών εικόνων χρησιμοποιώντας το διεθνώς αποδεκτό στο χώρο των τροφίμων χρωματικό μοντέλο CIELAB [20]. Οι παράλληλες μετρήσεις της μεταβολής του χρώματος με το χρωματόμετρο πραγματοποιήθηκαν με σκοπό την εύρεση πιθανής συσχέτισης των δυο τεχνικών σε ότι αφορά την ολική μεταβολή του χρώματος η οποία εκφράζεται από τον παράγοντα ολικής μεταβολής του χρώματος ΔE* (Total Colour Difference) [11, 12] όπως αυτός περιγράφεται από την εξίσωση 2.1:

$$\Delta E^{*} = \sqrt{(\Delta L^{*})^{2} + (\Delta a^{*})^{2} + (\Delta b^{*})^{2}} \qquad (2.1)$$

όπου L* η φωτεινότητα, a* ο παράγοντας πράσινου–κόκκινου και b* ο παράγοντας μπλέ–κίτρινου.

Σε ότι αφορά το χρωματόμετρο ελήφθησαν τέσσερις μετρήσεις σε κάθε τομάτα προσέχοντας κάθε φορά η μέτρηση να πραγματοποιείται στην ίδια περιοχή. Για τη χρωματομέτρηση με τη χρήση ψηφιακών εικόνων, χρησιμοποιήθηκε ψηφιακή φωτογραφική μηχανή Konica Minolta Dimage Z6 σε ελεγχόμενες συνθήκες φωτισμού [13], οι οποίες επετεύχθησαν με τη βοήθεια ειδικού φωτογραφικού κλωβού που έχει κατασκευαστεί στο εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας του Γ.Π.Α. Για τον απαιτούμενο φωτισμό χρησιμοποιήθηκαν τέσσερις λαμπτήρες φθορίου OSRAM L18W/965 1000 lm έτσι ώστε να έχουμε συνεχές φάσμα φωτός [3, 14].

Η ανάλυση των ψηφιακών εικόνων πραγματοποιήθηκε με τη χρήση ειδικού λογισμικού σε γλώσσα προγραμματισμού Visual Basic 5.0, το οποίο αναπτύχθηκε στο ίδιο εργαστήριο και το οποίο με τη βοήθεια λογισμικού επεξεργασίας ψηφιακής φωτογραφίας μπορεί να δώσει τα αποτελέσματα της ανάλυσης σε χρωματικούς παράγοντες, a* και b* και φωτεινότητα L*, στοιχεία τα οποία χρησιμοποιούνται συνήθως στη χρωματομετρία τροφίμων [13, 15, 16, 17]. Η διαδικασία που ακολουθήθηκε για την εξαγωγή των τιμών των χρωματικών παραγόντων, a* και b* καθώς και της φωτεινότητας L* παρουσιάζεται στο Σχήμα 1.

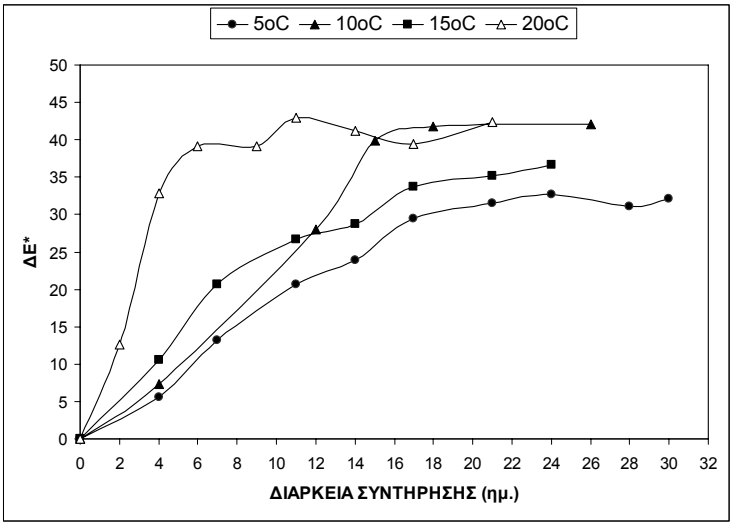


Σχήμα 1. Σχηματική παρουσίαση της διαδικασίας προσδιορισμού των τιμών των χρωματικών παραγόντων L^*, a^* και b^* με την ψηφιακή ανάλυση εικόνας Πηγή: [17]

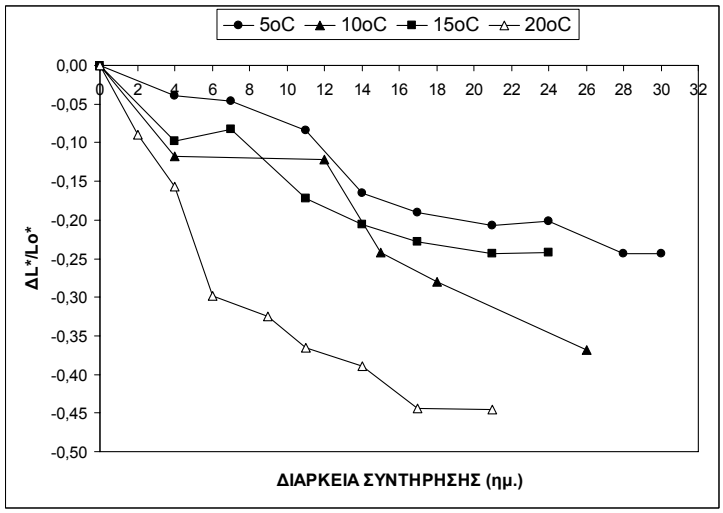
Το χρώμα μετρήθηκε και με τις δύο τεχνικές, σε τακτά χρονικά διαστήματα κατά τη διάρκεια της συντήρησης των δειγμάτων στους 5 °C, 10 °C και 15 °C καθώς και στους 20 °C, θερμοκρασίας θεωρούμενης ως αυτής του περιβάλλοντος.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Στα αποτελέσματα παρουσιάζονται διαγράμματα τόσο της ολικής μεταβολής του χρώματος ΔΕ* όσο και των αδιάστατων μεταβολών Δa^* και ΔL^*από την ανάλυση των ψηφιακών εικόνων με το χρόνο συντήρησης δύο πειραματικών σειρών. Οι ομάδες που συντηρήθηκαν στους 20 ^oC, 15 ^oC και 10 ^oC, όπως ήταν αναμενόμενο, άλλαξαν χρώμα γρηγορότερα από αυτές που συντηρήθηκαν στους 5 ^oC (Σχ. 2, 3 & 4).

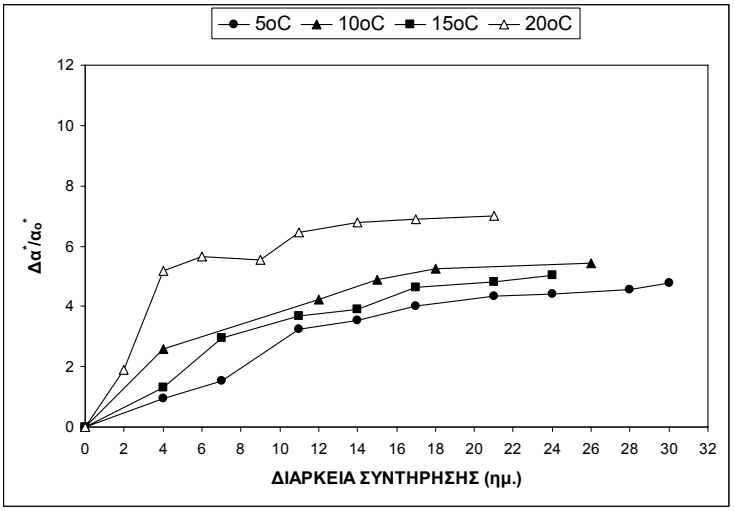


Σχήμα 2. Μεταβολή της ολικής μεταβολής τους χρώματος ΔE^* σε συνάρτηση με το χρόνο στους 5 ^oC, 10 ^oC, 15 ^oC και 20 ^oC.



Σχήμα 3. Η αδιάστατη μεταβολή $\Delta L^*/L_o^*$ σε συνάρτηση με το χρόνο στους 5 ^oC, 10 ^oC, 15 ^oC και 20 ^oC.

Μετά τις ημέρες συντήρησης στους 5 ^oC οι τομάτες δεν μπόρεσαν να ωριμάσουν εμπορικά, αφού παρέμειναν πράσινες και σκληρές ενώ κάποιες παρουσίασαν φυσιολογικές ανωμαλίες (ασθένειες ψύχους) κάτι το οποίο ήταν και αναμενόμενο [18].



Σχήμα 4. Η αδιάστατη μεταβολή $\Delta a^*/a_o^*$ σε συνάρτηση με το χρόνο στους 5 ^oC, 10 ^oC, 15 ^oC και 20 ^oC.

Από την ανάλυση των πειραματικών δεδομένων προέκυψαν μαθηματικά μοντέλα πρόβλεψης τόσο για τις αδιάστατες μεταβολές ΔL^* (3.1) και Δa^* (3.2) όσο και για την ολική μεταβολή του χρώματος η οποία εκφράζεται με τον παράγοντα ΔE^* (3.3).

$$\frac{\Delta L^*}{L_0^*} = (0.0259582 - 0.00867333 \cdot \theta) - 0.0616298 \cdot t^2 \qquad (3.1)$$

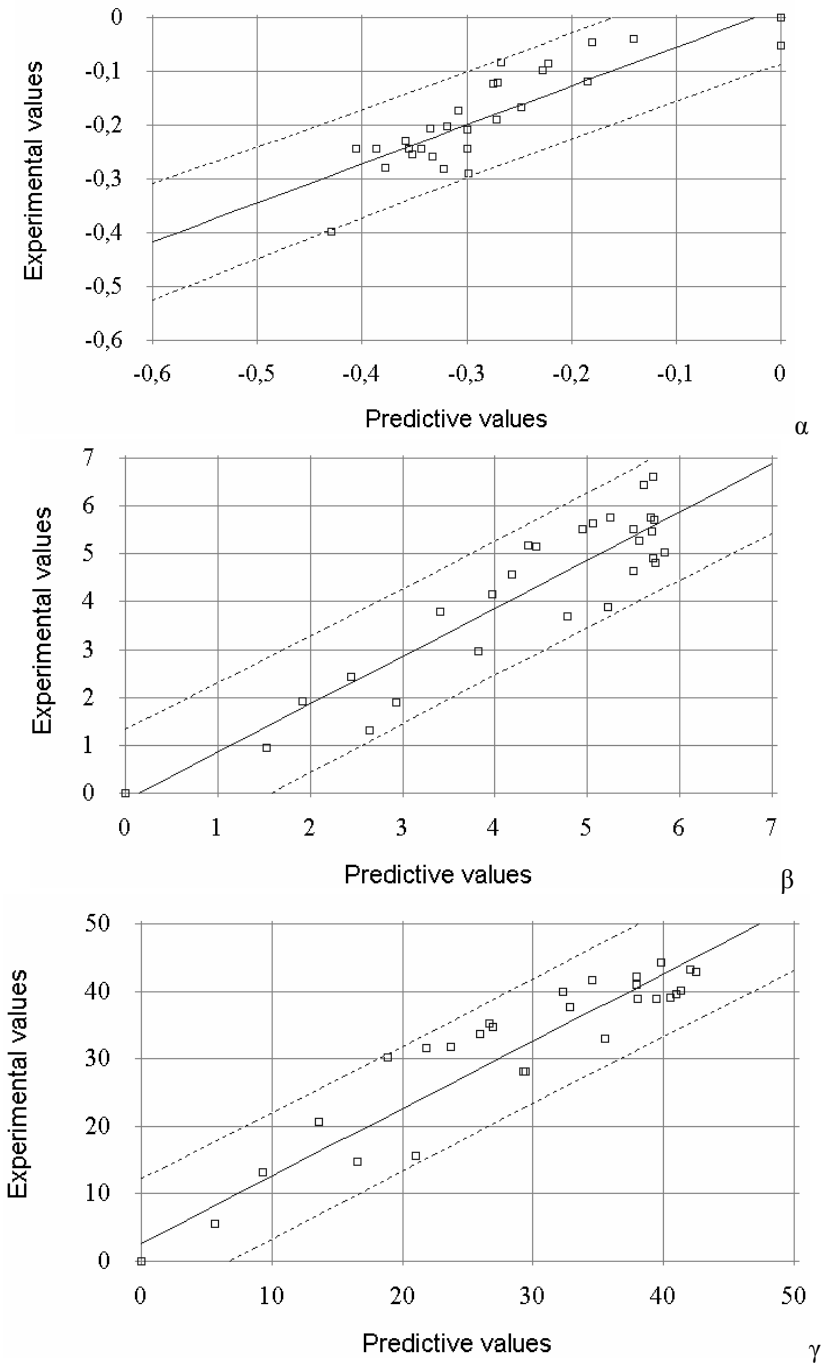
$$\frac{\Delta \alpha^*}{\alpha_o^*} = (6.9281 - 0.06 \cdot \theta) \cdot (1.0 - e^{\frac{t}{0.833 \cdot \theta - 19.45}}) \qquad (3.2)$$

$$\Delta E^* = (38.139 + 0.23 \cdot \theta) \cdot (1.0 - e^{(0.03 - 0.0137 \cdot \theta) \cdot t}) \qquad (3.3)$$

όπου, θ η θερμοκρασία συντήρησης, ^oC; t ο χρόνος συντήρησης, d, ΔL^* και $\Delta \alpha^*$ οι μεταβολές των χρωματικών παραγόντων L^* και a^*, L_0^* και α_o^* οι αρχικές τους τιμές, ΔE^* ολική μεταβολή του χρώματος.

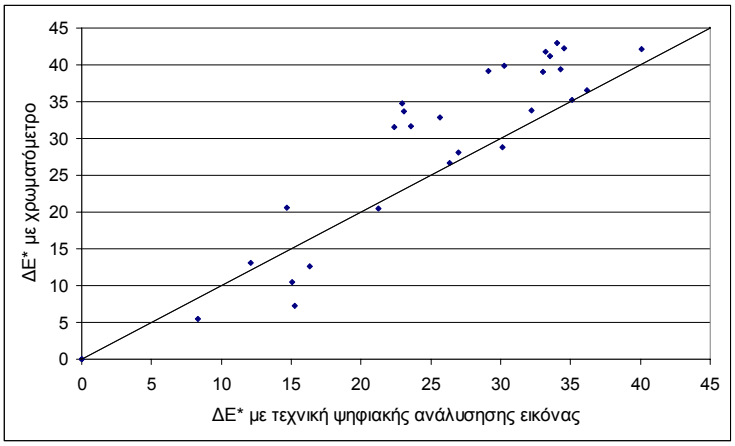
Ο συντελεστής συσχέτισης της Εξίσωσης 3.1 είναι R_{adj}^2 =80.32% ενώ το τυπικό σφάλμα απόκλισης, SEE=0.047 και το υπολογιζόμενο σφάλμα είναι RMSE=0.1. Ο συντελεστής συσχέτισης της Εξίσωσης 3.2 υπολογίστηκε R_{adj}^2 =86.35% ενώ το τυπικό σφάλμα απόκλισης, SEE=0.711 και το υπολογιζόμενο σφάλμα RMSE=0.76 και τέλος ο συντελεστής συσχέτισης της Εξίσωσης 3.3 είναι R_{adj}^2 =91.45% ενώ το τυπικό σφάλμα απόκλισης, SEE=4.41137 και το υπολογιζόμενο σφάλμα RMSE=4.65.

Αν οι πειραματικές τιμές των αδιάστατων μεταβολών ΔL^*, Δa^* και ΔE^* συγκριθούν με τις εκτιμώμενες από τις εξισώσεις (3.1), (3.2), (3.3) προκύπτουν οι γραφικές συσχετίσεις του το σχήματος 5.



Σχήμα 5. Πειραματικές τιμές των $\Delta L^*/L_o^*$ (**α**), $\Delta\alpha^*/\alpha_o^*$ (**β**) και ΔE^* (**γ**) έναντι των προβλεπόμενων από τις (3.1), (3.2), (3.3) αντίστοιχα. Τα εμφανιζόμενα όρια πρόβλεψης αντιστοιχούν σε p=0.05

Μια αρκετά καλή συσχέτιση (R^2=0.89) παρατηρήθηκε ανάμεσα στις τιμές του ΔΕ* που προέκυψαν από το χρωματόμετρο και αυτές που προέκυψαν με την τεχνική της ψηφιακής ανάλυσης (Σχ. 6). Οι όποιες διαφορές μπορούν να αποδοθούν τόσο στις διαφορετικές συνθήκες φωτισμού [19, 20], των δύο μεθόδων, όσο και στο ότι το χρωματόμετρο αξιολογεί πολύ μικρή επιφάνεια (διαμέτρου 8mm) σε αντίθεση με την τεχνική της ψηφιακής ανάλυσης η οποία αξιολογεί όλη την ορατή επιφάνεια των δειγμάτων.



Σχήμα 6. Πειραματικές τιμές ΔΕ* με χρωματόμετρο έναντι αυτών που προέκυψαν με ψηφιακή ανάλυση εικόνας.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην εργασία αυτή με χρήση ψηφιακής ανάλυσης εικόνας μελετήθηκε η μεταβολή του χρώματος συντηρούμενης βιολογικής τομάτας με έμφαση στην ολική μεταβολή ΔE^* καθώς και στις αδιάστατες μεταβολές Δa^* και ΔL^*. Η ανάλυση έδειξε ότι το χρώμα μεταβάλλεται γρηγορότερα στις υψηλότερες θερμοκρασίες.

Από την ανάλυση προσδιορίστηκαν τρία μαθηματικά μοντέλα πρόβλεψης τόσο για τις αδιάστατες μεταβολές ΔL^* και Δa^* όσο και για την ολική μεταβολή του χρώματος η οποία εκφράζεται με τον παράγοντα ΔE^* με ανεξάρτητες μεταβλητές την θερμοκρασία και το χρόνο συντήρησης.

Τέλος οι τιμές της ολικής μεταβολής του χρώματος ΔE^* που προέκυψαν από μετρήσεις με χρωματόμετρο παρουσιάζουν αρκετά καλή συσχέτιση (R^2=0.89) με αυτές που προέκυψαν από την τεχνική της ψηφιακής ανάλυσης εικόνας. Οι όποιες διαφορές οφείλονται. στις διαφορετικές συνθήκες φωτισμού των δύο μεθόδων καθώς και στο ότι το χρωματόμετρο αξιολογεί πολύ μικρή επιφάνεια σε αντίθεση με την τεχνική της ψηφιακής ανάλυσης με την οποία αξιολογείται όλη η ορατή από την κάμερα επιφάνεια των δειγμάτων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Abbott, A., J. 1999. Quality measurement of fruits and vegetables. *Postharvest Biology and Technology*. 15: 207–225.
2. Brosman, T. and Sun W. D. 2002. Inspection and grading of agricultural and food products by computer vision systems – A review. *Computers and Electronics in Agriculture*. 36: 193–213.

3. Clelland, D. and K. Eismann. 2001. Ψηφιακή φωτογραφία.(μετάφ. Γ. Στάμου) Εκδ. Anubis. Αθήνα. σσ. 405.
4. Carvalho Fernando P., 2006. Agriculture, pesticides, food security and food safety' (Review). *Environmental Science & Policy*, 9: 685 – 692.
5. Williams Pamela R.D. and Hammitt James K., 2000. A Comparison of Organic and Conventional Fresh Produce Byers in the Boston Area. *Risk Analysis,* 20(5): 735–746.
6. Worthington Virginia, M.S., Sc.D., C.N.S., 2001. Nutritional Quality of Organic Versus Conventional Fruits, Vegetables, and Grains. *The Journal of Alternative and Complementary Medicine*, 7 (2): 161–173.
7. Caris–Veyrat C, Amiot MJ, Tyssandier V, Grasselly D, BuretM,Mikolajczak M, Guilland JC, Bouteloup–Demange C, Borel P., 2004. 'Influence of organic versus conventional agricultural practice on the antioxidant microconstituent content of tomatoes and derived purees; consequences on antioxidant plasma status inhumans'. *J Agric Food Chem*, 52: 6503–6509.
8. Hallmann E. and Rembiałkowska E., 2007. 'Comparison of the Nutritive Quality of Tomato Fruits from Organic and Conventional Production in Poland'. 3rd QLIF Congress, Hohenheim, Germany, March 20–23.
9. HunterLab. 2005, Colour Measurement of Lycopene in Tomato and Watermelon Products. HunterLab. Applications Note. Vol. 17, No. 19. http://www.hunterlab.com/appnotes/an09_05r. pdf.
10. USDA, 1991. US. Standards for grades of Greenhouses Tomatoes. USDA, Agr. Mktg. Serv., Washington, DC.
11. HunterLab, 2001, The Basics Of Color Perception and Measurements, HunterLab Presents, Version 1.4. Available at: www.hunterLab.com. 12. Minolta, 1995. *Chroma Meter CR – 300*. Instruction Manual Minolta. Japan. p. 81.
13. Artigas, M., J. and A. Felipe 1987. On the variation of the CIELab coordinates with luminance. *J. Optics*. 18: 81 – 84.
14. HunterLab, 1996. CIE L*a*b* Color Scale. HunterLab The Color Management Company, Applications Note. Vol. 8. No. 7. Available at: http://www.hunterlab.com/appnotes/an07_96a.pdf.
15. Chatzis, E., Xanthopoulos, G. and Lamprinos, Gr. 2007. Evaluation of Storage Temperature Effects on Cultivated Mushrooms (Agaricus Bisporus) Colour Aspects by Chroma Meter and Digital Image Analysis. CIGR Section VI 3rd International Symposium, 24–26 September Naples, Italy (in press).
16. Yam, L. K., and E. S. Papadakis. 2004. A simple digital imaging method for measuring and analyzing colour of food surfaces. *Journal of Food Engineering*. (61). 137–142.
17. Χατζής Ε., Ξανθόπουλος Γ. , Λαμπρινός Γρ. και Κούρτης Α. 2006, Χρωματική Αξιολόγηση μαρουλιού στους 0°C και 10°C με Χρωματόμετρο και Ψηφιακή Ανάλυση Εικόνας, *AgroThesis*, 4 (1): 50–56.
18. Μανωλοπούλου Ε., 1987. Παράταση του χρόνου συντήρησης της πράσινης τομάτας με θερμικούς χειρισμούς. *Γεωργική Έρευνα* 11: 233–247.
19. HunterLab, 2000. What is color and How is Measured? HunterLab The Color Management Company, Applications Note. Vol. 12. No. 5. Available at: http://www.hunterlab.com/appnotes/an05_00.pdf.
20. Yang, C. C. & Rodrıguez, J. J. 1997. Efficient Luminance and Saturation Processing Techniques. Journal of Visual Communication and Image Representation. 8(3): 263–277.

Ενότητα 8:

Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και Εξοικονόμηση Ενέργειας

(109)

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΑΠΕΥΘΕΙΑΣ ΣΥΝΔΕΣΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗΣ ΩΣΜΩΣΗΣ ΜΕ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ

Εσσάμ Μωχάμεντ[1], Γ. Παπαδάκης[1], Ε. Μαθιουλάκης[2] και Β. Μπελεσσιώτης[2]

[1]Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής.75 Ιερά Οδός 118 55 Αθήνα, *e-mail: esamsh@aua.gr

[2] Εθνικό Κέντρο Έρευνας Φυσικών Επιστημών «ΔΗΜΟΚΡΙΤΟΣ», Εργαστήριο Ηλιακών & άλλων Ενεργειακών Συστημάτων. 15310 Αγ. Παρασκευή Αττικής

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα εργασία παρουσιάζει την πειραματική διερεύνηση ενός συστήματος αφαλάτωσης θαλασσινού νερού αντίστροφης ώσμωσης, που τροφοδοτείτε απευθείας (χωρίς συσσωρευτές) με ηλεκτρική ενέργεια από φωτοβολταϊκά πλαίσια. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η ειδική κατανάλωση ενέργειας μπορεί να φθάσει μέχρι 4.6 kWh/m^3 που έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση του εγκαταστημένο Φ/Β συστήματος και μείωση του κόστος του παραγόμενου νερού που εκτιμήθηκε με 7.8 €/m^3.

EXPERIMENTAL STUDY OF A DIRECT COUPLED REVERSE OSMOSIS DESALINATION UNIT WITH PHOTOVOLTAICS

Essam Sh. Mohamed[1*], G. Papadakis[1], E. Mathioulakis[2] and V. Belessiotis[2]

[1]Agricultural University of Athens, Depart. of Natural Resources & Agricultural Engineering, 75 Iera Odos, Street, GR 11855 Athens, Greece

[2]National Center for Scientific Research "Demokritos", Laboratory of Solar and Other Energy Systems, 153-10 Aghia Paraskevi Attikis, Greece, *e. mail esamsh@aua.gr

ABSTRACT

The objective of this work was to experimentally test a direct coupled reverse osmosis sea water desalination unit equipped with and energy recovery device (ERD) and powered directly (without batteries) with a photovoltaic system. The results showed that the specific energy consumption could be as low as 4.6 kWh/m^3 with a cost of produced water of 7.8 €/m^3.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Πολλές νησιωτικές και παράκτιες περιοχές υποφέρουν από έλλειψη νερού ή το υπάρχον νερό είναι υποβαθμισμένης ποιότητας (υφάλμυρο). Ταυτόχρονα, στις περισσότερες νησιωτικές περιοχές το κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας είναι υψηλό και αυτό έχει ως αποτέλεσμα η παραγωγή φρέσκου νερού μέσω αφαλάτωσης να έχει επίσης υψηλό κόστος. Όμως στις περισσότερες νησιωτικές περιοχές υπάρχει υψηλό ηλιακό και αιολικό δυναμικό ώστε να προσφέρεται η δυνατότητα συνδυασμού τεχνολογιών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ) με συστήματα αφαλάτωσης για την παραγωγή φρέσκου νερού. Η λύση αυτή είναι σήμερα τεχνικά και οικονομικά εφικτή αλλά και περιβαλλοντικά αποδεκτή [1].

Η παρούσα εργασία παρουσιάζει την πειραματική διερεύνηση ενός αυτόνομου συστήματος αφαλάτωσης θαλασσινού νερού με την τεχνολογία της αντίστροφης ώσμωσης, που τροφοδοτείται απευθείας (χωρίς συσσωρευτές) με ηλεκτρική ενέργεια παραγόμενη από φωτοβολταϊκά πλαίσια (Φ/Β). Το σύστημα αυτό είναι εγκαταστημένο στο Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών. Η παραγωγικότητα της μονάδα αφαλάτωσης είναι 2.2 m^3/day εξοπλισμένη με σύστημα ανάκτησης της υδραυλικής ενέργειας της άλμης για εξοικονόμηση ενέργειας και μείωση της εγκαταστημένης ισχύος. Το φωτοβολταϊκό σύστημα αποτελείται από 18 Φ/Β πλαίσια των 47 W_p, συνδεδεμένα απευθείας με τον κινητήρα της μονάδας αφαλάτωσης. Ο κινητήρας είναι συνεχούς ρεύματος ισχύος 510 W και οδηγεί μία περιστροφική αντλία τροφοδοσίας θετικής μετατόπισης.

Τα πειραματικά αποτελέσματα έδειξαν ότι η ειδική κατανάλωση ενέργειας μπορεί να μειωθεί μέχρι 4.6 kWh/m^3 που έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση του εγκαταστημένου Φ/Β συστήματος και μείωση του κόστος του παραγόμενου νερού που εκτιμήθηκε σε 7.8 €/m^3. Η εργασία επίσης παρουσιάζει τη σύγκριση των αποτελεσμάτων της απευθείας σύνδεσης με τη συμπεριφορά του συστήματος όταν αυτό τροφοδοτείται με ηλεκτρικό ρεύμα μέσω των ηλιακών συσσωρευτών. Σε αυτή την περίπτωση το σύστημα έδειξε χαμηλότερη ειδική κατανάλωση ενέργειας 4.3 kWh/m^3 αλλά υψηλότερο κόστος παραγωγής φρέσκου νερού (8.3 €/m^3) λόγου του αρχικού κόστος αγοράς και του ετήσιου κόστος συντήρησης και λειτουργίας των συσσωρευτών. Συμβατικές μονάδες αφαλάτωσης (χωρίς ανακτητές ενέργειας) έχουν ειδική κατανάλωση ενέργεια 20 kWh/m^3 και κόστος παραγωγής φρέσκου νερού έως και 30 €/m^3 [2].

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1. Περιγραφή το Φ/Β συστήματος

Το Φ/Β σύστημα αποτελείται από 18 Φ/Β πλαίσια των 47 Wp καθένα. Η συνολική ισχύς αιχμής ανέρχεται σε 846 Wp. Η οργάνωση των Φ/Β πλαισίων σχεδιάστηκε για να επιτύχουμε την κατάλληλη τάση για τον κινητήρα του (24 V), για το λόγο αυτό 2 Φ/Β πλαίσια τοποθετήθηκαν στη σειρά και 9 παράλληλα, βλ. *Πίνακα 1*.

2.2. Περιγραφή του συστήματος αφαλάτωσης

Η μονάδα αφαλάτωσης αποτελείται από:

- Δεξαμενή τροφοδοσίας, η οποία είναι κατασκευασμένη από μαύρο πολυαιθυλένιο υψηλής πυκνότητας, χωρητικότητας 1 m^3 . Στη δεξαμενή αυτή παρασκευάζεται η επιθυμητή αλατότητα του νερού τροφοδοσίας στη μονάδα αφαλάτωσης διαλύοντας χλωριούχο νάτριο σε νερό του δικτύου της πόλης.

- Σύστημα προεπεξεργασίας του νερού τροφοδοσίας που αποτελείται από δύο διαδοχικά φίλτρα πολυπροπυλενίου και κυτταρίνης 25 micron και 5 micron αντίστοιχα.
- Αντλία τροφοδοσίας, Η αντλία τροφοδοσίας αντλεί το νερό από τη δεξαμενή τροφοδοσίας και το οδηγεί προς τη μονάδα ΑΩ μέσω των φίλτρων. Ο κινητήρας της αντλίας είναι συνεχούς ρεύματος ισχύς 510 W, βλ. *Πίνακα 2*.
- Η αντλία Clark pump, είναι η αντλία υψηλής πίεσης του συστήματος και ταυτόχρονα σύστημα ανάκτησης της ενέργειας από τη γραμμή της άλμης [2].
- Οι μεμβράνες και οι μεμβρανοθήκες,δύο μεμβράνες Filmtec SW30-2540) [3] είναι η καρδιά του συστήματος ΑΩ, διαχωρίζει το εισερχόμενο νερό σε δύο ρεύματα, το αφαλατωμένο και το απορριπτόμενο νερό. Και τα δυο ρεύματα επιστρέφουν στην δεξαμενή τροφοδοσίας. Η μεμβρανοθήκη (σωλήνα υψηλής πίεσης) Code Line είναι.Βλ. *Πίνακα 3*.

Πίνακας 1. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά των Φ/Β πλαισίων

Φωτοβολταϊκά πλαίσια	Arco Solar
Μέγιστη ισχύς (P_{max})	47 Wp
Ρεύμα μέγιστης ισχύος (I_{mpp})	3.3 A
Τάση σημείου μέγιστης ισχύος (V_{mpp})	14.2 V
Ρεύμα βραχυκυκλώματος (I_{sc})	3.9 A
Τάση ανοιχτού κυκλώματος (V_{oc})	22 V
Αριθμός πλαισίων σε σειρά	2
Αριθμός πλαισίων παράλληλα	9

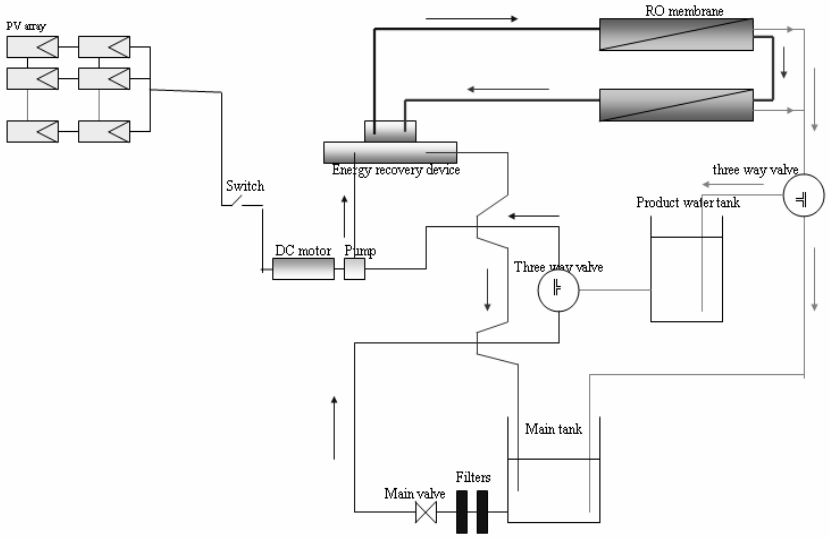
Πίνακας 2: Τεχνικά χαρακτηριστικά του κινητήρα και της αντλίας

Κινητήρα συνεχούς ρεύματος	Drive systems LV74.9
Ισχύ λειτουργίας	510 W
Τάση λειτουργίας	24 V
Μέγιστο ρεύμα	25 A
Ταχύτητα περιστροφής	1500 rpm
Περιστροφική αντλία	Fluid-o-tech PO700
Μέγιστη πίεση	16 bar
Παροχή στα 1450 rpm	800 L/h

Πίνακας 3. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά της μεμβράνης και της μεμβρανοθήκης

Τύπος μεμβρανοθήκης	Code line
Τύπος μεμβράνης	Filmtec SW 30-2540 σπειροειδούς περιέλιξης
Μέγιστη πίεση	69 bar
Μέγιστη θερμοκρασία νερού	45 ^oC
Μέγιστη παροχή τροφοδοσίας	1.4 m^3/h
Παροχή παραγόμενου νερού	83 L/h
Ικανότητα απόρριψη αλάτων	99.2%
Ανάκτηση ενός στοιχείου	8%

Ένα σχηματικό διάγραμμα του συστήματος και ο τρόπος σύνδεσης των διαφόρων συστημάτων απεικονίζεται στο σχήμα 1. Η μονάδα ανάκτησης της υδραυλική ενέργειας (Clark pump) κατατάσσεται στην πρώτη κατηγορία των ανακτητών.

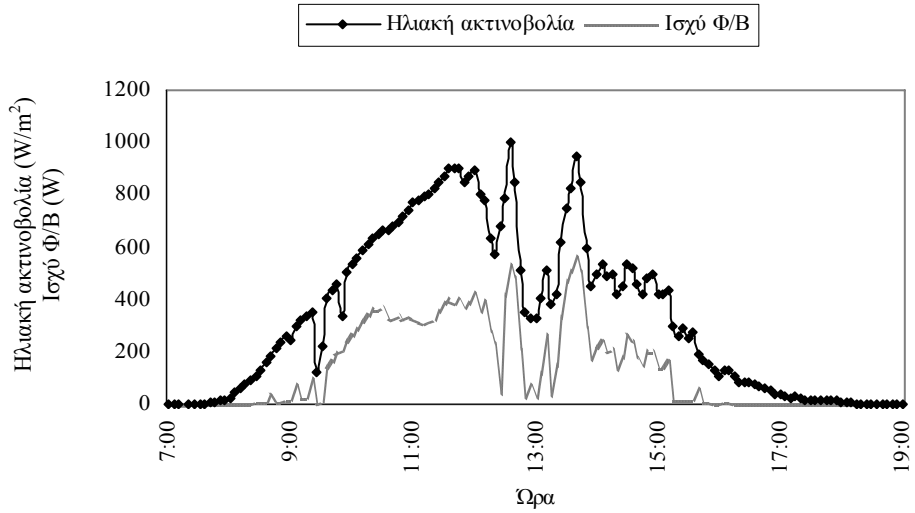


Σχήμα 1. Σχηματική απεικόνιση του συστήματος

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

3.1. Διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία

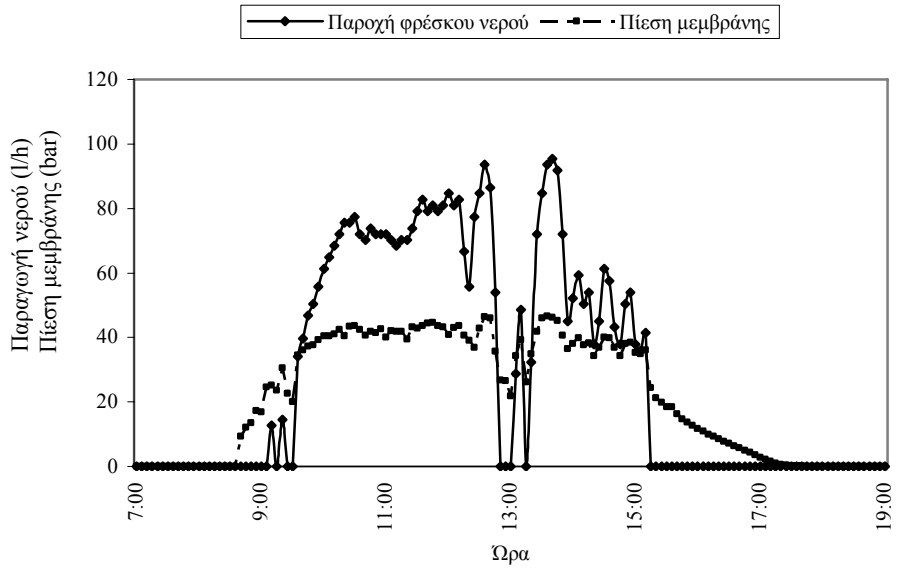
Στο *Σχήμα 2* παρουσιάζεται η μετρούμενη ολική ηλιακή ακτινοβολία στην Αθήνα και η αντίστοιχη παραγόμενη ισχύς από τα Φ/Β πλαίσια στις 25 Νοεμβρίου 2006. Η ημερήσια ηλιακή ακτινοβολία που μετρήθηκε ήταν 4.1 kWh/m^2/d. Η καταναλισκόμενη / παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια καταγράφηκε να είναι 1.6 kWh/m^2, δεδομένου ότι η συνολική επιφάνεια του Φ/Β είναι 7.13 m^2, η απόδοση της μετατροπής της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική υπολογίστηκε σε 5.5%, που είναι μια λογική τιμή για Φ/Β πλαίσια ηλικίας 10 ετών με μερική διάβρωση των στοιχείων που τροφοδοτούν σε απευθείας σύνδεση μία θετικής μετατόπισης αντλία. Η αντίστοιχη τιμή για σύστημα με συσσωρευτές είναι 8%.



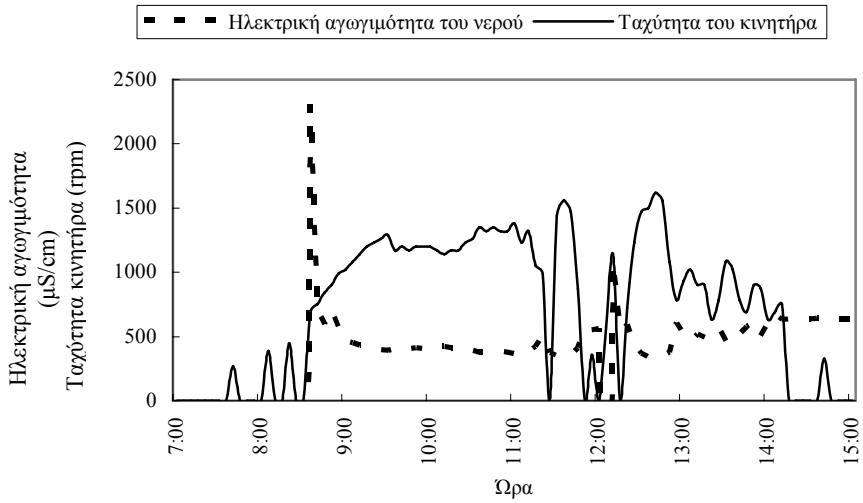
Σχήμα 2. Η διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία και η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια

3.2. Παραγωγή και ποιότητα του παραγόμενου νερού

Όπως φαίνεται από το Σχήμα 3, η παραγωγή νερού ξεκινά στης περίπου στης 9:10 και συνεχίζεται μέχρι της 15:30. Η συνολική παραγωγή ανέρχεται στις 350 l/d. Η παραγωγή νερού με ηλεκτρική αγωγιμότητα μικρότερη από 1000 μS/cm ξεκινά όταν η πίεση μεμβράνης φτάνει στη τιμή 37 bar, κάτι το οποίο συμβαίνει στης 9:40. Βλέπε. Σχήμα 4. Ο μέσος όρος της ηλεκτρικής αγωγιμότητας καταγράφηκε να είναι 390 μS/cm. Η συνολική καταναλισκόμενη ενέργεια από το κινητήρα ήταν 1.6 kWh/d και ειδική κατανάλωση ενέργειας υπολογίστηκε σε 4.6 kWh/m^3.



Σχήμα 3. Η παραγωγή φρέσκου νερού και η πίεση της μεμβράνης



Σχήμα 4. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα του νερού και η ταχύτητα του κινητήρα

3.3. Κόστος του παραγόμενου νερού

Το κόστος του παραγόμενου νερού υπολογίστηκε με βάση την μέθοδο ανάλυσης κύκλου ζωής για το σύστημα με την απευθείας σύνδεση. Το κόστος αυτό συγκρίνεται με ένα σύστημα με συσσωρευτές (300 Ah) και ρυθμιστής φόρτισης. Η οικονομική ανάλυση πραγματοποιήθηκε με τα παρακάτω κριτήρια:

- Επιτόκιο 5%
- Οικονομικό χρόνο ζωής των συσσωρευτών 5 έτη.
- Οικονομικό χρόνο ζωής της μεμβράνης 4 έτη.
- Ίδιες κλιματολογικές συνθήκες

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης φαίνεται στο Πίνακα 4.

Πίνακας 4. Οικονομικά στοιχεία του συστήματος

	Σύστημα με συσσωρευτές	Σύστημα χωρίς συσσωρευτές
Κόστος επένδυσης (€)	19500	18000
Ετήσιο κόστος (€/y)	2640	2330
Ετήσια παραγωγή ενέργειας (kWh/y)	1380	1380
Ειδική κατανάλωση ενέργειας (kWh/m^3)	4.3	4.6
Ετήσια παραγωγή νερού (m^3/y)	321	300
Ηλεκτρική αγωγιμότητα (μS/cm)	350	390
Κόστος νερού (€/m^3)	8.3	7.8

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- Η απόδοση χρήσης της ηλιακής ενέργειας στα συστήματα με συσσωρευτές είναι μεγαλύτερη, για αυτό το λόγο το μέγεθος του Φ/Β συστήματος θα είναι και μικρότερο.
- Δεν υπάρχει σημαντική διαφορά στην ειδική κατανάλωση ενέργειας. Η απευθείας σύνδεση καταναλώνει 0.3 kWh/m^3 παραπάνω από τα συστήματα με συσσωρευτές λόγω μη συμβατότητας της καμπύλης της αντλίας θετικής μετατόπισης με την καμπύλη του Φ/Β.
- Η πρόσθεση μικρού συστήματος αποθήκευσης δεν δικαιολογείται οικονομικά λόγω του υψηλού κόστος αγοράς και αντικατάστασης των συσσωρευτών.
- Η απευθείας σύνδεση των μικρών συστημάτων αφαλάτωσης είναι τεχνικά και οικονομικά εφικτή μέθοδος για παραγωγή νερού σε απομακρυσμένες περιοχές.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Cheah, S.-F., Photovoltaic Reverse Osmosis Desalination System. 2004. ITN Energy Systems, Inc. Report No. 104: Littleton, USA. p. 44.
2. Essam Sh. Mohamed, G. Papadakis, E. Mathioulakis, V. Belessiotis. 2006. An experimental comparative study of the technical and economic performance of a small reverse osmosis desalination system equipped with a hydraulic energy recovery unit. Desalination, 194: 239-250.
3. Essam Sh. Mohamed, G. Papadakis, E. Mathioulakis, V. Belessiotis. 2005. The effect of hydraulic energy recovery in a small sea water reverse osmosis desalination system; experimental and economical evaluation. Desalination, 184: 241-246.

(112)

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΑΠΟ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΒΙΟΝΤΙΖΕΛ ΩΣ ΚΑΥΣΙΜΟ ΣΕ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟ-ΚΙΝΗΤΗΡΑ ΓΕΩΡΓΙΚΟΥ ΕΛΚΥΣΤΗΡΑ

Ι. Γράβαλος[α], Θ. Γιαλαμάς, Ζ. Κουτσοφίτης, Α. Αυγουστής,Γ. Λιανός, Δ. Κατέρης, Π. Ξυραδάκης, Ζ. Τσιρόπουλος, Θ. Λέλλης

Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Λάρισας, Σχολή Τεχνολογίας Γεωπονίας, Τμ. Γ. Μηχανών και Αρδεύσεων, Τ.Κ. 41110, Λάρισα. [α]e-mail: gravalos@in.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι η παρουσίαση πειραματικών δεδομένων από τη χρήση βιοντίζελ ως καύσιμο σε πετρελαιοκινητήρα. Η παραγωγή του βιοντίζελ έγινε από ελαιούχα φυτά όπως ελαιοκράμβη και ηλίανθο, με τη μέθοδο της καταλυτικής μετεστεροποίησης. Δοκιμάστηκε αυτούσιο βιοντίζελ και μείγματα αυτού με συμβατικό ντίζελ. Οι δοκιμές πραγματοποιήθηκαν επί του γεωργικού ελκυστήρα ZETOR 7745. Οι μετρήσεις ελήφθησαν επί του δυναμοδότη, με τη βοήθεια του δυναμόμετρου FROMENT XT200. Η επεξεργασία των αποτελεσμάτων έγινε με τη μορφή διαγραμμάτων της ισχύος, της ροπής στρέψης και της ειδικής κατανάλωσης καυσίμου.

EXPERIMENTAL DATA BY UTILIZATION OF BIODIESEL AS FUEL IN A DIESEL ENGINE OF AGRICULTURAL TRACTOR

I. Gravalos[a], Th. Gialamas, Z. Koutsofitis, A. Augustis, G. Lianos, D. Kateris, P. Xyradakis, Z. Tsiropoulos, Th. Lellis

Technological Educational Institute of Larissa, Faculty of Agricultural Technology, Department of Agricultural Machinery & Irrigation, 41110, Larissa, Greece.
[a]e-mail: gravalos@in.gr

ABSTRACT

This study aims to present experimental data by utilization of biodiesel as fuel in a diesel engine. The biodiesel production was made from different vegetable oil (rapeseed and sunflower) with a process of transesterification. Investigation has been carried out using different blends of biodiesel and diesel oil. This engine was installed on agricultural tractor ZETOR 7745. Measurements were taken on the power take off shaft by electrical dynamometer FROMENT XT200. The experimental results have been processed graphically in order to evaluate the variation of engine power, torque and specific fuel consumption over the entire speed range.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Εναλλακτικά, είναι δυνατόν να υποκατασταθεί μέρος των συμβατικών καυσίμων με άλλα καύσιμα, που δε θα προέρχονται από το αργό πετρέλαιο. Στην περίπτωση αυτή κάθε κινητήρας θα καταναλώνει ένα μείγμα καυσίμου, εν μέρει προερχόμενο από το αργό πετρέλαιο και εν μέρει από άλλες πηγές, κατά κύριο λόγο ανανεώσιμες. Η δυνατότητα αυτή μπορεί να επεκταθεί και να φθάσει σε πλήρη υποκατάσταση των συμβατικών καυσίμων.

Σήμερα, τη μοναδική βιώσιμη λύση για την αντικατάσταση του συμβατικού ντίζελ κίνησης αποτελεί η χρήση των Μεθυλεστέρων Λιπαρών Οξέων (Fatty Acid Methyl Esters, FAME), που είναι ευρύτερα γνωστοί με τον όρο βιοντίζελ (biodiesel). Το βιοντίζελ είναι δυνατόν να παραχθεί από μια μεγάλη ποικιλία πρώτων υλών, όπως είναι τα κοινά φυτικά έλαια (π.χ. κραμβέλαιο, σογιέλαιο, βαμβακέλαιο, ηλιέλαιο, φοινικέλαιο, κ.ά.) και τα ζωικά λίπη. Για την παραγωγή του βιοντίζελ, τα λιπαρά οξέα των ανωτέρω πηγών υπόκεινται σε μία διαδικασία που ονομάζεται μετεστεροποίηση (transesterification) [1]. Σ' αυτή τη χημική αντίδραση, τα φυτικά έλαια ή τα ζωικά λίπη αντιδρούν παρουσία ενός καταλύτη (συνήθως μίας βάσης) με μία αλκοόλη (μεθανόλη) για την παραγωγή των αλκυλεστέρων (των μεθυλεστέρων) των λιπαρών οξέων. Το βιοντίζελ χρησιμοποιείται για την τροφοδοσία των οχημάτων ως αυτούσιο καύσιμο (B100) ή σε μείγμα με υψηλής ποιότητας συμβατικό ντίζελ. Για παράδειγμα, το καύσιμο B30 υποδηλώνει την ανάμιξη 30% βιοντίζελ με συμβατικό ντίζελ.

Οι Agarwal και Das [2] δοκίμασαν διαφορετικά μείγματα συμβατικού ντίζελ με βιοντίζελ, που παρήγαγαν από λινέλαιο, σε έναν τετράχρονο, υδρόψυκτο, μονοκύλινδρο πετρελαιοκινητήρα. Η έρευνά τους έδειξε ότι το μείγμα, που περιείχε 20% βιοντίζελ, έδωσε καλύτερα αποτελέσματα σε σχέση με τα υπόλοιπα. Οι Lue et al. [3] χρησιμοποίησαν ως καύσιμο, μείγματα βιοντίζελ B20 και B30 από υποβαθμισμένα φυτικά έλαια (τηγανέλαια), σε έναν μικρό κινητήρα άμεσης εγχύσεως. Σύμφωνα με τα στοιχεία της έρευνας αυτής, τα μείγματα B20 και B30 έδωσαν υψηλότερες εκπομπές σωματιδιακής ύλης συγκρινόμενες με αυτές του συμβατικού ντίζελ και μάλιστα οι εκπομπές της σωματιδιακής ύλης βαίνουν αυξανόμενες σε σχέση με την αύξηση της περιεκτικότητας του βιοντίζελ στο μείγμα. Οι Al-Widyan et al. [4] δοκίμασαν διαφορετικά μείγματα βιοντίζελ (B100, B75, B50 και B25) σε έναν μονοκύλινδρο, άμεσης εγχύσεως πετρελαιοκινητήρα. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της έρευνάς τους, τα μείγματα, συγκρινόμενα με το συμβατικό ντίζελ, παρουσίασαν υψηλότερο βαθμό απόδοσης, μικρότερη ειδική κατανάλωση και χαμηλότερες εκπομπές όσον αφορά το CO και τους HC. Οι Carraretto et al. [5] παρήγαγαν βιοντίζελ από μείγμα διαφορετικών φυτικών ελαίων (κραμβέλαιου, σογιέλαιου και ηλιέλαιου) με τη μέθοδο της καταλυτικής μετεστεροποίησης, στη συνέχεια το ανάμειξαν σε διαφορετικές αναλογίες με συμβατικό ντίζελ (όπως B20, B30, B50, B70, B80, και B100) και τέλος το δοκίμασαν σε έναν εξακύλινδρο κινητήρα άμεσης εγχύσεως, ο οποίος χρησιμοποιείται σε αστικά λεωφορεία. Από την έρευνά τους προέκυψε ότι καθώς αυξάνεται η αναλογία του βιοντίζελ στο μείγμα, η ισχύς και η ροπή στρέψης παρουσιάζονται ελαφρώς μειωμένες. Συγκεκριμένα, κατά τη δοκιμή με B100, η μείωση αυτή διαμορφώθηκε στο 3 % της μέγιστης ισχύος και στο 5 % της μέγιστης ροπής στρέψης, σε σχέση με το συμβατικό ντίζελ. Αντιθέτως, η ειδική κατανάλωση καυσίμου εμφανίζεται αυξημένη κατά +16 % σε ολόκληρο το εύρος των στροφών, λόγω του μεγαλύτερου ειδικού βάρους. Στην προσπάθειά τους να βελτιώσουν τα πραγματικά μεγέθη του κινητήρα επενέβησαν ρυθμίζοντας κατάλληλα την προπορεία έγχυσης.

Στην Ελλάδα, η χρήση του βιοντίζελ βρίσκεται ακόμη σε αρχικό στάδιο. Οι περισσότερες μελέτες, που έχουν πραγματοποιηθεί, αφορούν κυρίως τη μέτρηση των εκπεμπόμενων αέριων ρύπων μετά την καύση αυτούσιου βιοντίζελ και μειγμάτων του

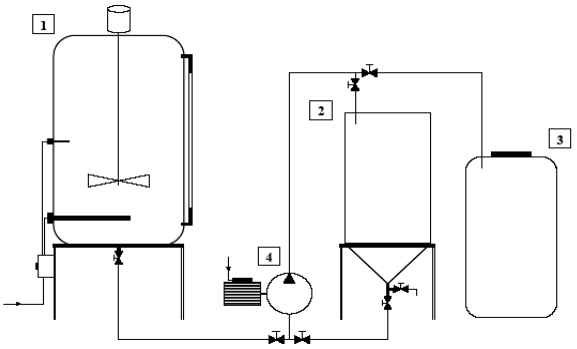
από μικρότερους κινητήρες, που προορίζονται για το σύνολο των επιβατικών οχημάτων, [6]. Επομένως, εύλογα προκύπτει το ερώτημα σχετικά με τις επιπτώσεις των νέων αυτών καυσίμων στους μεγαλύτερους κινητήρες άμεσης εγχύσεως, που χρησιμοποιούνται στα βαρύτερα οχήματα και ιδίως στα αυτοκινούμενα γεωργικά μηχανήματα. Σκοπός της εργασίας αυτής είναι να μελετήσει την επίδραση του βιοντίζελ από διαφορετικά φυτικά έλαια (κραμβέλαιο και ηλιέλαιο), καθώς και μειγμάτων τους με συμβατικό ντίζελ, στα ενεργειακά μεγέθη (ισχύς, ροπή στρέψης και ειδική κατανάλωση) του πετρελαιοκινητήρα ενός γεωργικού ελκυστήρα.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1. Παραγωγή βιοντίζελ

Η παραγωγή του βιοντίζελ έγινε σε μικρή κλίμακα, από διαφορετικά φυτικά έλαια, όπως αυτών της ελαιοκράμβης και του ηλίανθου. Για το λόγο αυτό αναπτύχθηκε μία πειραματική μονάδα παραγωγής [7], η οποία περιλαμβάνει τη συσκευή έκθλιψης ελαιούχων σπόρων (Farmer 10) και έναν αντιδραστήρα μετεστεροποίησης φυτικών ελαίων. Η συσκευή Farmer 10 είναι κατάλληλα σχεδιασμένη για ψυχρή έκθλιψη, χωρίς να προηγηθεί οποιαδήποτε επεξεργασία των σπόρων. Ο κυριότερος μηχανισμός της συσκευής αυτής είναι το πιεστήριο. Επίσης, περιλαμβάνει έναν ηθμό (φίλτρο) για τον καθαρισμό του παραγόμενου λαδιού, μία αντλία κυκλοφορίας του λαδιού και μία σειρά πλαστικών δοχείων, για την τοποθέτηση των ελαιούχων σπόρων, την ιζηματοποίηση και την αποθήκευση του καθαρού λαδιού. Ο αντιδραστήρας μετεστεροποίησης φυτικών ελαίων (*Σχήμα 1*) είναι μία ιδιοκατασκευή σχετικά χαμηλού κόστους, η οποία αποτελείται από ένα μεταλλικό δοχείο θέρμανσης του λαδιού (1), ένα ανοξείδωτο κωνικό δοχείο μείξης/ στράγγισης (2), ένα πλαστικό δοχείο αποθήκευσης του παραγόμενου βιοντίζελ (3), μία φυγοκεντρική αντλία (4), ελαστικούς αγωγούς και ένσφαιρους χειροκίνητους διακόπτες.

Η παραγωγή του βιοντίζελ έγινε με τη μέθοδο της καταλυτικής μετεστεροποίησης. Ως αλκοόλη χρησιμοποιήθηκε η μεθανόλη (CH_3OH) λόγω χαμηλότερου κόστους και ως καταλύτης χρησιμοποιήθηκε το NaOH. Οι ιδιότητες του παραγόμενου βιοντίζελ ελαιοκράμβης και ηλίανθου καθώς και των μειγμάτων τους με συμβατικό ντίζελ αναλύθηκαν και αξιολογήθηκαν βάσει του ευρωπαϊκού πρότυπου EN 14214 και του αμερικανικού ASTM D-6751 (*Πίνακας 1*).



Σχήμα 1. Ο αντιδραστήρας μετεστεροποίησης φυτικών ελαίων.

Πίνακας 1. Ιδιότητες του συμβατικού ντίζελ, βιοντίζελ και των μιγμάτων τους.

Ιδιότητες	Βιοντίζελ ελαιοκράμβης	Βιοντίζελ ηλίανθου	Ντίζε

	B5	B30	B50	B100	B5	B30	B50	B100	λ
Θερμογόνος δύναμη [MJ/kg]	42,79	41,67	39,88	36,33	42,01	41,72	39,12	35,83	43,30
Ιξώδες στους 40ºC [mm^2/s]	4,63	5,23	5,35	5,83	4,52	4,64	5,70	6,18	3,47
Πυκνότητα στους 15ºC [g/cm^3]	0,844	0,862	0,871	0,895	0,851	0,864	0,874	0,898	0,831

2.2. Πετρελαιοκινητήρας και συσκευές μέτρησης

Προκειμένου να αποκτηθεί μια ολοκληρωμένη εικόνα σχετικά με τα πλεονεκτήματα και τις ανεπάρκειες από τη χρήση του βιοντίζελ ως υποκατάστατο καύσιμο του συμβατικού ντίζελ, πραγματοποιήθηκε σειρά δοκιμών επί του πετρελαιοκινητήρα άμεσης εγχύσεως του γεωργικού ελκυστήρα. ZETOR 7745. Ο συγκεκριμένος ελκυστήρας ελέγχθηκε εκ των προτέρων και διαπιστώθηκε ότι ήταν σε άριστη τεχνική κατάσταση. Επίσης θα πρέπει να τονιστεί ότι στο συγκεκριμένο πετρελαιοκινητήρα δεν έγινε καμία απολύτως μετατροπή. Στον *Πίνακα 2* δίνονται τα σημαντικότερα τεχνικά χαρακτηριστικά του.

Η πειραματική διαδικασία προέβλεπε διαφορετικές ομάδες δοκιμών: με συμβατικό ντίζελ, με αυτούσιο βιοντίζελ φυτικών ελαίων (B100) όπως κραμβέλαιο (μη ραφιναρισμένο) και ηλιέλαιο (ραφιναρισμένο) και μειγμάτων συμβατικού ντίζελ με βιοντίζελ στις αναλογίες των B5, B30 και B50.

Η μέτρηση των βασικών παραμέτρων του κινητήρα έγινε επί του άξονα του δυναμοδότη (PTO) του γεωργικού ελκυστήρα, με τη βοήθεια του ηλεκτρικού δυναμόμετρου FROMENT XT200. Όλες οι δοκιμές πραγματοποιήθηκαν σύμφωνα με τον κώδικα No 2 του OECD (Organization for Economics Cooperation and Development). Οι σταθερές στροφές του δυναμοδότη, που επιλέχτηκαν καθ' όλη τη διάρκεια των δοκιμών, ήταν 540 min^{-1}, ενώ ο κινητήρας λειτουργούσε με τη μέγιστη παροχή καυσίμου. Η επιλογή των κύριων και δευτερευόντων φορτίων, καθώς και η ανάγνωση των ενδείξεων γινόταν με τη βοήθεια του ψηφιακού οργάνου του δυναμόμετρου.

Πίνακας 2. Τεχνικά χαρακτηριστικά του πετρελαιοκινητήρα

Τύπος πετρελαιοκινητήρα	Z 7701 T
Ονομαστική ισχύς (ISO 1585)	57 kW
Ονομαστικός αριθμός στροφών	2200 min^{-1}
Ροπή στρέψης στις 1590 min^{-1}	285,3 Nm
Ειδική κατανάλωση	245 g/kW·h
Αριθμός κυλίνδρων	4
Κυβισμός	3923 cm^3
Σύστημα ψύξης	Υδρόψυκτο
Σύστημα πλήρωσης	Υπερπλήρωση με στροβιλοσυμπιεστή

2.3. Μεθοδολογία υπολογισμού πραγματικών μεγεθών πετρελαιοκινητήρα

Είναι προφανές ότι πολλαπλασιάζοντας τη δύναμη πέδησης που φορτίζει τον άξονα εξόδου με την ακτίνα αυτού προκύπτει η ροπή πέδησης. Επομένως, η ροπή πέδησης είναι ίση με τη ροπή στρέψης με την οποία ο κινητήρας αναγκάζει σε περιστροφή τον άξονά του. Σύμφωνα, με τον κατασκευαστή του δυναμόμετρου [8] η ροπή στρέψης (M_d) υπολογίζεται από την ακόλουθη σχέση:

$$M_d = \frac{N_e \times 9549}{n} \quad (1)$$

Όπου: M_d είναι η ροπή στρέψης [Nm], N_e είναι η πραγματική ισχύς [kW] και n είναι η ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα [rpm].

Ανάγοντας την πραγματική ισχύ που αποδίδει ένας πετρελαιοκινητήρας καταναλώνοντας συγκεκριμένη ποσότητα καυσίμου στη μονάδα του χρόνου, προκύπτει το μέγεθος της πραγματικής ειδικής κατανάλωσης καυσίμου (m_e). Στην αγγλοσαξονική βιβλιογραφία, η πραγματική ειδική κατανάλωση καυσίμου αναφέρεται ως "brake specific fuel consumption (bsfc)", δηλαδή κατανάλωση καυσίμου ανηγμένη (ειδική) στην ισχύ που προσδιορίζεται σε πέδη και ορίζεται από τη σχέση:

$$m_e = \frac{m_b \times 1000}{N_e} \quad (2)$$

Όπου: m_e είναι η πραγματική ειδική κατανάλωση καυσίμου [g/kWh], m_b είναι η ωριαία κατανάλωση καυσίμου [kg/h] και N_e είναι η πραγματική ισχύς [kW].

Η ωριαία κατανάλωση (m_b) εκφράζει την ισχύ που αναπτύσσει ο κινητήρας ανά χιλιόγραμμο καυσίμου που καταναλώνει σε μία ώρα και δίνεται από τη σχέση:

$$m_b = V_b \times \rho \quad (3)$$

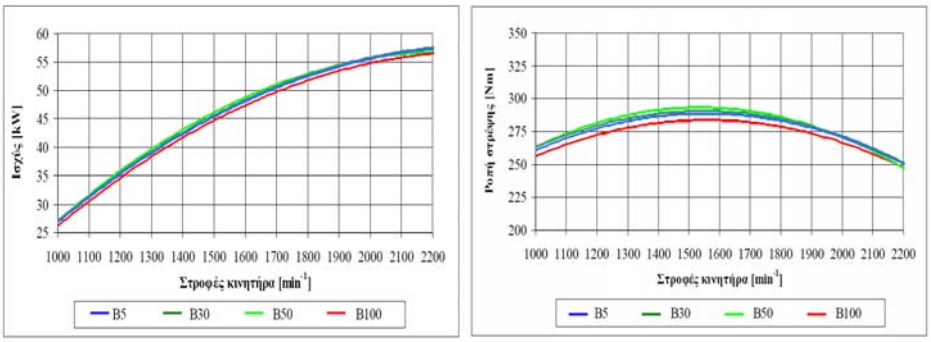
Όπου: m_b είναι η ωριαία κατανάλωση καυσίμου [kg/h], V_b είναι η μέση ωριαία κατανάλωση κατ' όγκο [l/h] και ρ είναι το ειδικό βάρος καυσίμου [kg/l].

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

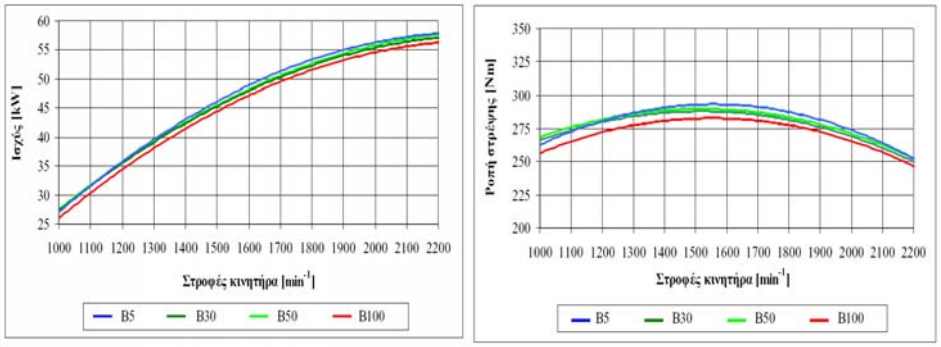
Τα συγκριτικά αποτελέσματα των δοκιμών δίνονται στη συνέχεια υπό τη μορφή χαρακτηριστικών καμπυλών της ισχύος, της ροπής στρέψης και της ειδικής κατανάλωσης καυσίμου, σε συνάρτηση των στροφών του κινητήρα.

Στο *Σχήμα 2* δίνονται τα διαγράμματα σύγκρισης των καμπυλών της ισχύος και της ροπής στρέψης του κινητήρα, όταν αυτός κινήθηκε με αυτούσιο βιοντίζελ κραμβέλαιου (B100) και μείγματα αυτού με συμβατικό ντίζελ, στις αναλογίες των B5, B30 και B50. Οι καμπύλες τόσο της ισχύος όσο και της ροπής στρέψης, για τα μείγματα των B5, B30 και B50, παρουσιάζονται εμφανώς καλύτερες σε σχέση με το αυτούσιο βιοντίζελ B100, σε ολόκληρο το εύρος των στροφών. Κατά τη διάρκεια των δοκιμών με το βιοντίζελ B5 και B30, η ονομαστική ισχύς μετρήθηκε 56,62 kW, ενώ κατά τη δοκιμή με το βιοντίζελ B100 ήταν 55,83 kW. Στη συγκεκριμένη περίπτωση προκύπτει μία διαφορά ονομαστικής ισχύος της τάξεως του 0,79 kW ήτοι 1,4 %. Για το βιοντίζελ B50, η μέγιστη ροπή στρέψης που μετρήθηκε ήταν 289,14 Nm στις 1517 min^{-1} και για το βιοντίζελ B100 ήταν 277,15 Nm στις 1656 min^{-1}. Πρόκειται για μία διαφορά της τάξεως των 11,99 Nm, ήτοι 4,15 %. Η μέγιστη ροπή στρέψης για το αυτούσιο βιοντίζελ (B100) επιτυγχάνεται σε υψηλότερες στροφές, λόγω της αυξημένης ταχύτητας καύσης που παρουσιάζει το βιοντίζελ, γεγονός που επιβεβαιώνεται και από την εργασία των Cardone et al. [9].

Στο *Σχήμα 3* δίνονται τα διαγράμματα σύγκρισης των καμπυλών της ισχύος και της ροπής στρέψης του κινητήρα, όταν αυτός κινήθηκε με αυτούσιο βιοντίζελ ηλιέλαιου (Β100) και μείγματα αυτού με συμβατικό ντίζελ, στις αναλογίες των Β5, Β30 και Β50. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, οι καμπύλες της ισχύος και της ροπής στρέψης για το μείγμα Β5 εμφανίζονται να είναι καλύτερες σε σχέση με το καύσιμο Β100 και τα άλλα μείγματα των Β30 και Β50, σχεδόν σε ολόκληρο το εύρος των στροφών. Κατά τη δοκιμή με το βιοντίζελ Β5, η ονομαστική ισχύς μετρήθηκε 56,60 kW, ενώ κατά τη δοκιμή με το βιοντίζελ ηλιέλαιου Β100 ήταν 55,80 kW. Επομένως, προκύπτει μία διαφορά ονομαστικής ισχύος της τάξεως του 0,80 kW ήτοι 1,40 %. Επίσης, η μέγιστη ροπή στρέψης μετρήθηκε για το μείγμα Β5 και ήταν 288,84 Nm στις 1559 min^{-1} και για το βιοντίζελ Β100 ήταν 276,25 Nm στις 1617 min^{-1}. Πρόκειται για μία διαφορά της τάξεως των 12,59 Nm, ήτοι 4,36 %.



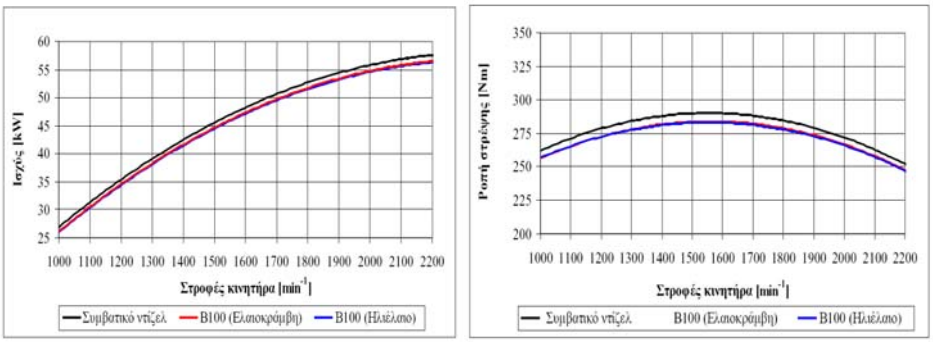
Σχήμα 2. Σύγκριση των καμπυλών της ισχύος και της ροπής στρέψης του κινητήρα, όταν αυτός κινήθηκε με αυτούσιο βιοντίζελ κραμβέλαιου (Β100) και μείγματα αυτού με συμβατικό ντίζελ στις αναλογίες των Β5, Β30 και Β50.



Σχήμα 3. Σύγκριση των καμπυλών της ισχύος και της ροπής στρέψης του κινητήρα, όταν αυτός κινήθηκε με αυτούσιο βιοντίζελ ηλιέλαιου (Β100) και μείγματα αυτού με συμβατικό ντίζελ στις αναλογίες των Β5, Β30 και Β50.

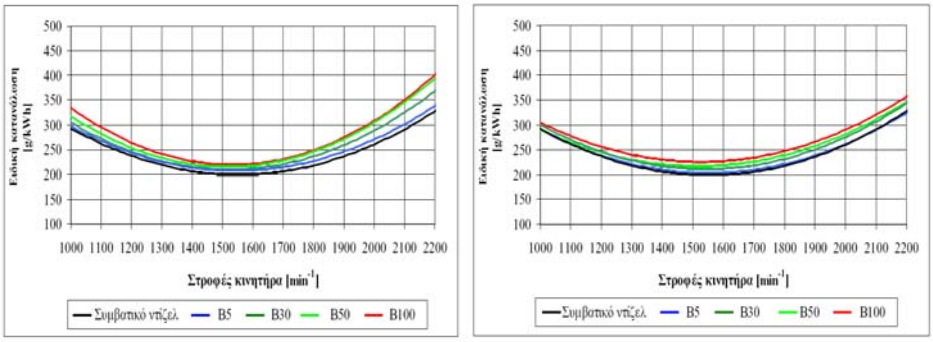
Στο *Σχήμα 4* παρουσιάζονται τα διαγράμματα σύγκρισης των καμπυλών της ισχύος και της ροπής στρέψης του κινητήρα, όταν αυτός κινήθηκε με συμβατικό ντίζελ και αυτούσιο βιοντίζελ (Β100) κραμβέλαιου και ηλιέλαιου. Είναι φανερό ότι, για τα καύσιμα Β100 από κραμβέλαιο και ηλιέλαιο, οι καμπύλες τόσο της ισχύος όσο και της ροπής στρέψης σχεδόν ταυτίζονται σε ολόκληρο το εύρος των στροφών. Κατά τη διάρκεια των δοκιμών, η ονομαστική ισχύς που μετρήθηκε για το συμβατικό ντίζελ ήταν 57,35 kW, για το αυτούσιο βιοντίζελ κραμβέλαιου ήταν 55,83 kW και για το αυτούσιο

βιοντίζελ ηλιέλαιου ήταν 55,80 kW. Επομένως, το καύσιμο Β100 από κραμβέλαιο παρουσιάζει ελάχιστα καλύτερη ονομαστική ισχύ σε σχέση με το Β100 του ηλιέλαιου αλλά υπολείπεται της ονομαστικής ισχύος του συμβατικού ντίζελ κατά 1,52 kW ήτοι 2,65 %. Για το συμβατικό ντίζελ, η μέγιστη ροπή στρέψης που μετρήθηκε ήταν 291,81 Nm στις 1544 min^{-1} και για το καύσιμο Β100 από κραμβέλαιο ήταν 277,15 Nm στις 1656 min^{-1}. Πρόκειται για μία διαφορά της τάξεως των 14,66 Nm, ήτοι 5,0 %. Επίσης, η διαθέσιμη ροπή του κινητήρα, με βάση τις μετρήσεις της μέγιστης ροπής και της ροπής στην ονομαστική ισχύ υπολογίστηκε στο 16,42 %, όταν ο κινητήρας κινήθηκε με συμβατικό ντίζελ και για το καύσιμο Β100 από κραμβέλαιο υπολογίστηκε στο 13,06 %.



Σχήμα 4. Σύγκριση των καμπυλών της ισχύος και της ροπής στρέψης του κινητήρα, όταν αυτός κινήθηκε με συμβατικό ντίζελ και αυτούσιο βιοντίζελ (Β100) προερχόμενο από κραμβέλαιο και ηλιέλαιο.

Τέλος, στο *Σχήμα 5* παρουσιάζονται τα διαγράμματα σύγκρισης των καμπυλών της ειδικής κατανάλωσης καυσίμου του κινητήρα, όταν αυτός κινείται με συμβατικό ντίζελ, βιοντίζελ ελαιοκράμβης (Β100), βιοντίζελ ηλιέλαιου (Β100) και μείγματα αυτών, στις αναλογίες των Β5, Β30 και Β50. Οι καμπύλες της ειδικής κατανάλωσης για το συμβατικό ντίζελ και τα μείγματα των Β5 και Β30 σχεδόν ταυτίζονται. Αντιθέτως, οι καμπύλες του βιοντίζελ Β50 και Β100 παρουσιάζουν μεγαλύτερη ειδική κατανάλωση σε ολόκληρο το εύρος των στροφών, λόγω μεγαλύτερου ειδικού βάρους.



Σχήμα 5. Σύγκριση των καμπυλών της ειδικής κατανάλωσης καυσίμου του κινητήρα, όταν αυτός κινείται με συμβατικό ντίζελ, βιοντίζελ ελαιοκράμβης (Β100), βιοντίζελ ηλιέλαιου (Β100) και μείγματα αυτών στις αναλογίες των Β5, Β30 και Β50.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

1. Η χρήση βιοντίζελ Β100 και μειγμάτων με συμβατικό ντίζελ κίνησης είναι δυνατή χωρίς ή με περιορισμένες επεμβάσεις στον πετρελαιοκινητήρα.
2. Η απόδοση των πετρελαιοκινητήρων άμεσης εγχύσεως δεν επηρεάζεται σημαντικά από τη χρήση μεθυλεστέρων διαφορετικών φυτικών ελαίων (κραμβέλαιο και ηλιέλαιο) καθώς και των μειγμάτων τους με συμβατικό ντίζελ (Β5, Β30 και Β50).
3. Η αυξημένη ειδική κατανάλωση του Β100, προερχόμενο είτε από κραμβέλαιο είτε από ηλιέλαιο, οφείλεται κατά κύριο λόγο στο διαφορετικό ειδικό βάρος.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Οι συγγραφείς της εργασίας αυτής, θα ήθελαν να ευχαριστήσουν θερμά τις εταιρείες "Η ΔΗΜΗΤΡΑ" Α.Ε. και "ΕΛΙΝ ΒΙΟΚΑΥΣΙΜΑ" Α.Ε. για την ευγενική τους χορηγία.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Schuchardt, U., Sercheli, R., Vargas, R. M., 1998. Transesterification of Vegetable Oils: A Review. *J. Braz. Chem. Soc*., 9: 199-210.
2. Agarwal, A. K., Das, L. M., 2001. Biodiesel development and characterization for use as a fuel in compression ignition engines. *Journal of Engineering for Gas Turbines and Power, Transaction of the ASME*, 123: 440-447.
3. Lue, Y. F., Yeh, Y. Y., Wu, C. H., 2001. The emission characteristics of a small d.i. diesel engine using biodiesel blended fuels. *J. Environ. Sci. Health*, 36(5): 845-859.
4. Al-Widyan, M. I., Tashtoush, G., Abu-Qudais, M., 2002. Utilization of ethyl ester of waste vegetable oils as fuel in diesel engines. *Fuel Processing Technology*, 76: 91-103.
5. Carraretto, C., Macor, A., Mirandola, A., Stoppato, A., Tonon, S., 2004. Biodiesel as alternative fuel: Experimental analysis and energetic evaluations. *Energy*, 29: 2195-2211.
6. Karavalakis, G., Tzirakis, E., Stournas, S., Zannikos, F., Karonis, D., 2006. Emissions measurement in a diesel vehicle operated with diesel/ biodiesel blends on a specific driving cycle. *Proceedings of 2nd Conference Environment & Transport incl. 15th Transport and Air pollution*, Reims, France.
7. Γράβαλος, Ι., Γιαλαμάς, Θ., Κουτσοφίτης, Ζ., Κατέρης, Δ., Ξυραδάκης, Π., Λιανός Γ., Τσιρόπουλος, Ζ., 2007. Πειραματική Μονάδα Παραγωγής Βιοντίζελ. Γεωργία-Κτηνοτροφία, 1: 38-44.
8. Froment, N. J., 1996. *Tractor test center operator's manual*. Edition 2.010/2.96, Lincolnshire, United Kingdom, 52 pp.
9. Cardone, M., Prati, M.V., Rocco, V., Senatore, A., 1998. Experimental analysis of performances and emissions of a diesel engines fuelled with biodiesel and diesel oil Blends. *Proceedings of MIS–MAC V*, Roma, Italy.

(136)

ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ ΤΩΝ ΚΛΑΔΟΔΕΜΑΤΩΝ ΕΛΙΑΣ

Π. Ξένος–Κοκολέτσης, Ε. Χατζής και Γρ. Λαμπρινός
Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Α.Φ.Π. & Γ.Μ., Ιερά Οδός 75, Τ.Κ. 11855,
Τηλ. 210 5294031–4029, Fax. 210 529 4032, e–mail: refrigenergy@aua.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της συγκεκριμένης εργασίας είναι η συλλογή πληροφοριών σχετικά με τα παραγόμενα υπολείμματα ελαιοκομίας (κλαδοδέματα) στην Ελλάδα, ο υπολογισμός του οικονομικού οφέλους που θα μπορούσε να προκύψει από την αξιοποίηση τους, καθώς και η ανεύρεση τρόπων οργάνωσης και διαχείρισης (management) των κλαδοδεμάτων. Τα αποτελέσματα που εξήχθησαν έδειξαν ότι, τα περιθώρια εκμετάλλευσης των κλαδοδεμάτων σε κάποιες περιοχές, είναι μεγάλα και η χρήση τους μπορεί να βελτιώσει οικονομικά πολλούς τομείς της γεωργίας καταργώντας το κόστος απόρριψης, ενσωμάτωσης ή καύσης και παρέχοντας εναλλακτικές πηγές εσόδων.

UTILIZATION OF THE OLIVE TRIMMING RESIDUES

P. Xenos Kokoletsis, E. Xatzis and G. Lamprinos
A.U.A., Department of Natural Resources and Agricultural Engineering, Iera Odos 75,
11855, Athens. Tel.: 210 5294031–4029, Fax. 210 529 4032

ABSTRACT

The aim of this study was to collect information regarding the olive trimming residues in Greece, the estimation of the financial benefit which could be achieved from the utilization of these residues, as well as ways to manage them. The results of the study revealed that the potential profit in some production areas is considerable and the exploitation of the residues could enhance financially many agricultural sectors, cutting off the cost of disposal or burning of the residues, providing likewise alternative income sources.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας έχουν προταθεί ως ένας τρόπος μείωσης της επίδρασης της καύσεως ορυκτών καυσίμων και μείωσης των εκπομπών του αερίου του θερμοκηπίου στο περιβάλλον [1].

Ο αντικειμενικός σκοπός της χρήσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας είναι η εύρεση βιώσιμων τρόπων ανάπτυξης [2], διαφορετικών από τη σημερινή πρακτική της καύσης ορυκτών καυσίμων και της ανάπτυξης συστημάτων τα οποία να είναι αποδοτικά και ταυτόχρονα φιλικά προς το περιβάλλον [3]. Οι παράγοντες κόστος και διαθεσιμότητα έχουν περιορίσει την ευρεία χρήση των πηγών αυτών μέχρι σήμερα [4].

Όσον αφορά τον παράγοντα κόστος οφείλουν να σημειωθούν τα εξής :

Το αρχικό κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας μιας μονάδας αξιοποίησης ΑΠΕ είναι μεγάλο [5], αλλά η κοινωνική πίεση και οι νέοι περιβαλλοντικοί κανονισμοί οδηγούν τις κυβερνήσεις όλου του κόσμου να υιοθετήσουν στρατηγικές οι οποίες επιτυγχάνουν ένα είδος ισορροπίας μεταξύ οικονομικών και περιβαλλοντικών ωφελειών [6]. Δεδομένου του ότι πρόκειται για ένα παγκόσμιο πρόβλημα, διεθνή πρωτόκολλα και συμφωνίες βρίσκονται υπό διαπραγμάτευση πάνω από μια δεκαετία [7].

Μια από τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας που υπάρχει στην Ελλάδα είναι τα υπολείμματα γεωργικών καλλιεργειών. Τέτοια υπολείμματα συνήθως δεν χρησιμοποιούνται καθόλου και σε ελάχιστες περιπτώσεις υποχρησιμοποιούνται (π.χ. για τη λίπανση)[8], [9].

Η βιομηχανία της ελαιοκομίας είναι μια από τις μεγαλύτερες γεωργικές βιομηχανίες που ανθούν στην Ελλάδα και παράγουν κάθε χρόνο τεράστιες ποσότητες υπολειμμάτων [10], [11], τα οποία κατά το μεγαλύτερο μέρος τους καταστρέφονται (καίγονται στον αγρό). Τα υπολείμματα αυτά θα μπορούσαν να αξιοποιηθούν με ελάχιστο επιπλέον κόστος για παραγωγή ενέργειας[12], διότι έχουν υψηλή θερμογόνο δύναμη παραπλήσια με αυτή του λιγνίτη [13], [14].

Με την ελαιοκομία να ανθεί οι παραγόμενες ποσότητες των υπολειμμάτων της αναμένεται αν όχι να αυξηθούν, να παραμείνουν σταθερές. Αποτέλεσμα αυτού είναι να μπορούν να θεωρηθούν ως μια σταθερή πρώτη ύλη για παραγωγή ενέργειας [15] από μια πηγή αφενός μεν φιλική προς το περιβάλλον αφετέρου δε (άμεσα ή έμμεσα) κερδοφόρα για τους παραγωγούς [16].

Η αξιοποίηση των υπολειμμάτων είναι απαραίτητο να γίνει τόσο προς όφελος των καλλιεργητών, όσο και για περιβαλλοντικό και ενεργειακό όφελος της χώρας.

Η εργασία αυτή έχει ως σκοπό να εξυπηρετήσει τους εξής στόχους :

- Τη συλλογή πληροφοριών για τους τρόπους χρήσης των υπολειμμάτων
- Την ανεύρεση τρόπων οργάνωσης και διαχείρισης (management) των κλαδοδεμάτων
- Τον υπολογισμό του οικονομικού οφέλους από την αξιοποίηση των υπολειμμάτων αυτών και τέλος
- Την έρευνα οικονομικής βιωσιμότητας της προτεινόμενης αξιοποίησης.

2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Για την έρευνα αυτή χρησιμοποιήθηκε πλήθος επιστημονικών και τεχνικών δημοσιεύσεων καθώς και στοιχεία του Υπουργείου Γεωργίας και της Στατιστικής Υπηρεσίας (ΕΣΥΕΑ).

Για την επαλήθευση των στοιχείων της βιβλιογραφίας αλλά και για τη συλλογή ακριβέστερων και αξιόπιστων στοιχείων συντάχθηκαν ερωτηματολόγια, τα οποία μοιράστηκαν σε αγρότες που απασχολούνται με την καλλιέργεια της ελιάς στις περιοχές

της Μεσσηνίας, της Εύβοιας και της Ζακύνθου. Το ερωτηματολόγιο αυτό παρουσιάζεται στον Πίνακα 1.

Πίνακας 1: Ερωτηματολόγιο συγκέντρωσης πληροφοριών.

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ & ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ & ΨΥΚΤΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΙΕΡΑ ΟΔΟΣ 75, ΒΟΤΑΝΙΚΟΣ, 11855, ΑΘΗΝΑ
ΤΗΛ.: 210–5294042, 210–5294035 FAX:210–5294032, 210–5294035
e–mail: refrigenergy@aua.gr

ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΛΑΙΟΔΕΝΤΡΩΝ ΑΓΡΟΚΤΗΜΑΤΟΣ:……

ΕΚΤΑΣΗ ΑΓΡΟΚΤΗΜΑΤΟΣ ΣΕ ΣΤΡΕΜΜΑΤΑ:……..

ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΕΛΑΙΟΚΑΡΠΟΥ ΠΟΥ ΣΥΛΛΕΓΕΤΑΙ ΕΤΗΣΙΩΣ ΣΕ kg:……...

ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΕΛΑΙΟΛΑΔΟΥ ΠΟΥ ΠΑΡΑΓΕΤΑΙ ΕΤΗΣΙΩΣ ΣΕ kg:……

ΒΑΡΟΣ ΚΛΑΔΟΔΕΜΑΤΩΝ ΠΟΥ ΚΟΠΗΚΑΝ ΚΑΤΑ ΤΗ ΣΥΛΛΟΓΗ ΣΕ kg:……...

ΠΟΣΟΣΤΟ ΚΟΜΗΣ (ΟΓΚΟΣ) ΠΟΥ ΚΟΠΗΚΕ ΚΑΤΑ ΤΗ ΣΥΛΛΟΓΗ:……%

ΠΟΣΟΣΤΟ ΚΟΜΗΣ ΠΟΥ ΚΟΒΕΤΑΙ ΚΑΤΑ ΤΟΝ ΚΑΘΑΡΟ (ΑΝ ΓΙΝΕΤΑΙ):……%

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ:……
……
…..

Πώς θα βλέπατε μια οργανωμένη πρωτοβουλία συγκέντρωσης των κλαδοδεμάτων ελιάς για παραγωγή βιομάζας αντί να καίγονται στο χωράφι μολύνοντας την ατμόσφαιρα;

Συμφωνείται;…….

Εάν ναι, θα συμμετείχατε στην πρωτοβουλία στοιβάζοντας τα κλαδοδέματα δίπλα στο δρόμο;……
….

Μήπως έχετε κάποια καλύτερη πρόταση;……

Υπογραφή

Ονοματεπώνυμο:……
Διεύθυνση , τηλ.:……..

Από τα στοιχεία του ερωτηματολογίου μπορούν να εκτιμηθούν οι παραγωγικοί συντελεστές για τις εν λόγω περιοχές καθώς και να εξαχθούν συμπεράσματα για τον τρόπο κλαδέματος, και να αποτυπωθούν απόψεις των παραγωγών για μια τέτοια κίνηση καθώς και η διάθεσή τους να συμμετάσχουν σε μια σχετική πρωτοβουλία.

Η συγκεκριμένη εργασία περιορίζεται στον υπολογισμό και την αξιοποίηση μόνο των κλαδοδεμάτων ως πρώτη ύλη χωρίς να συνυπολογίζονται άλλα παραπροϊόντα της βιομηχανίας της ελαίας όπως φύλλα και κατσίγαρος, απόβλητα τα οποία σημειώνεται

ότι έχουν υψηλή θερμογόνο δύναμη (27, 68 MJ/kg τα κλαδοδέματα ελαίας) και η διάθεση τους είναι προβληματική.

Στον υπολογισμό του δυναμικού αυτής της ενεργειακής πηγής θα πρέπει να ληφθούν υπόψη ορισμένοι σημαντικοί παράγοντες:

- Τα ελαιόδεντρα έχουν συνήθως παραγωγικό κύκλο δύο ετών. Αυτό δεν σημαίνει απαραίτητα ότι υπάρχει παραγωγή κλαδοδεμάτων κάθε δεύτερο χρόνο καθώς η παραγωγή, σε όλες τις περιοχές παρουσιάζει μικρές διακυμάνσεις από χρόνο σε χρόνο (ΕΣΥΕ), εφόσον κάποια δέντρα ή βραχίονες του δέντρου παράγουν σε ετήσια βάση.
- Η περίοδος συγκομιδής ελαιών (και κατά συνέπεια και κλαδοδεμάτων) διαρκεί στις περισσότερες περιοχές μέχρι έξη μήνες, γεγονός που δημιουργεί προβλήματα στη συλλογή, στη διαχείριση και στην αποθήκευση των κλαδοδεμάτων.

Οι δύο αυτοί παράγοντες (παρενιαυτοφορία και εποχικότητα) αποτελούν μέρος του προβλήματος και θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη τόσο από οικονομικής όσο και από διαχειριστικής απόψεως. Κύριος μηχανολογικός εξοπλισμός για την εκμετάλλευση των κλαδοδεμάτων είναι ο τεμαχιστής (Chipper), μηχάνημα το οποίο χρησιμοποιείται για να τεμαχίσει κάθε προϊόν ξύλου σε μικρά ροκανίδια (chip) ή και σε πριονίδι (sawdust).

Στην οικονομική αξιολόγηση που έγινε εξετάστηκαν δύο σενάρια. Το πρώτο αφορούσε σταθερό τεμαχιστή τοποθετημένο σε σημείο κοντά στον αποθηκευτικό χώρο, ενώ το δεύτερο σενάριο περιελάμβανε μηχάνημα που θα φέρεται στο υδραυλικό σύστημα του ελκυστήρα, τα δε επί τόπου παραγόμενα ροκανίδια θα φορτώνονται σε πλατφόρμα και θα μεταφέρονται στον χώρο αποθήκευσης. Και οι δύο περιπτώσεις, δεν υπερκαλύπτουν τις ανάγκες σε τοπικό επίπεδο. Στην πρώτη περίπτωση (σταθερά τοποθετημένος τεμαχιστής), στο κόστος περιλαμβάνεται και κινητήρας diesel 30 ίππων ο οποίος είναι απαραίτητος για τη λειτουργία του μηχανήματος. Στο δεύτερο σενάριο ο διαθέσιμος ελκυστήρας είναι 50 HP. Για την επένδυση θα πρέπει να κατασκευαστεί αποθηκευτικός χώρος, όγκου τουλάχιστον 500 m^3 με ελάχιστο κόστος 15.000 ευρώ. Τα λειτουργικά έξοδα αφορούν εργαζόμενους, καύσιμα και συντήρηση εγκαταστάσεων και εξοπλισμού.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Στους Πίνακες 2 και 3, φαίνονται οι αποσβέσεις και οι τόκοι του κεφαλαίου στην περίπτωση τεμαχιστή σταθερά τοποθετημένου και τεμαχιστή φερόμενου στον ελκυστήρα αντίστοιχα.

Πίνακας 2: Αποσβέσεις και τόκοι κεφαλαίου, με τεμαχιστή σταθερά εγκατεστημένου (με κινητήρα).

	Κόστος (ευρώ)	*Χρόνος ζωής (έτη)*	*Ποσοστό χρήσης (%)*	*Απόσβεση (ευρώ)*	*Επιτόκιο (%)*	*Τόκοι κεφαλαίου (ευρώ)*	*Σύνολο (ευρώ)*
Κτίρια	*15.000*	*20*	*100*	*750*	*6*	*900*	*1.650*
Ελκυστήρας	*60.000*	*20*	*25*	*750*	*6*	*900*	*1.650*
Τεμαχιστής	*8.300*	*10*	*100*	*830*	*6*	*498*	*1.328*
Πλατφόρμα	*3.000*	*20*	*25*	*37.5*	*6*	*45*	*83*
ΣΥΝΟΛΟ	4.711 ευρώ/ έτος						

Στη δεύτερη περίπτωση, του φερόμενου τεμαχιστή, οι αποσβέσεις και οι τόκοι του κεφαλαίου είναι αυξημένοι κατά 29% και πιο συγκεκριμένα κατά 1.364 ευρώ/έτος.

Πίνακας 3: Αποσβέσεις και τόκοι κεφαλαίου , με φερόμενο τεμαχιστή.

	Κόστος (ευρώ)	*Χρόνος ζωής (έτη)*	*Ποσοστό χρήσης (%)*	*Απόσβεση (ευρώ)*	*Επιτόκιο (%)*	*Τόκοι κεφαλαίου(ευρώ)*	*Σύνολο (ευρώ)*
Κτίρια	*15.000*	*20*	*100*	*750*	*6*	*900*	*1.650*
Ελκυστήρας	*60.000*	*20*	*50*	*1.500*	*6*	*1.800*	*3.300*
Τεμαχιστής	*6.000*	*10*	*100*	*600*	*6*	*360*	*960*
Πλατφόρμα	*3.000*	*20*	*50*	*75*	*6*	*90*	*165*
ΣΥΝΟΛΟ	6.075 ευρώ/ έτος						

Τα λειτουργικά έξοδα, φαίνονται στον Πίνακα 4. Συγκεκριμένα, το κόστος των εργατικών αντιπροσωπεύει στην περίπτωση του σταθερού τεμαχιστή το 56% των συνολικών ετήσιων λειτουργικών εξόδων, ενώ στην περίπτωση που ο τεμαχιστής είναι φερόμενος, τα εργατικά αντιστοιχούν στο 39.6%.

Πίνακας 4: Λειτουργικά έξοδα για διάρκεια μιας περιόδου.

Λειτουργικά έξοδα Σταθερός τεμαχιστής Φερόμενος τεμαχιστής		
Καύσιμα **:Ελκυστήρας** **:Τεμαχιστής**	 2.592 6.480	 10.800 0
Εργαζόμενοι	14.400 (2 άτομα με ημερομίσθιο 40ευρώ)	9.000 (1 άτομο με ημερομίσθιο 50 ευρώ)
Συντήρηση κτιρίων	150 (1% του κόστους κατασκευής)	150 (1% του κόστους κατασκευής)
Συντήρηση μηχανημάτων **:Ελκυστήρας** **:Τεμαχιστής**	 518 1296	 2.160 600
Λοιπά έξοδα	200	200
Συνολικά ***λειτουργικά*** έξοδα **:25.636 : 22.710**		

Στον Πίνακα 5 φαίνεται το συνολικό κόστος παραγωγής ροκανιδιών όπου γίνεται εμφανές ότι στην περίπτωση που ο τεμαχιστής είναι φερόμενος το συνολικό κόστος παραγωγής ροκανιδιών είναι μικρότερο.

Πίνακας 5: Συνολικό κόστος παραγωγής ροκανιδιών.

ΚΟΣΤΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΡΟΚΑΝΙΔΙΩΝ		
Σταθερός τεμαχιστής	**Φερόμενος τεμαχιστής**	
ΑΠΟΣΒΕΣΕΙΣ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ	1.650	1.650
Κτίρια	1.650	3.300
Ελκυστήρας	1.328	960
Τεμαχιστής	83	165
Πλατφόρμα		
Σύνολο αποσβέσεων	**4.711 ευρώ/ έτος**	**6.075 ευρώ/ έτος**
ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΑ ΕΞΟΔΑ		
Καύσιμα	9.072	10.800
Εργαζόμενοι	14.400	9.000
Συντήρηση κτιρίων	150	150
Συντήρηση μηχανημάτων	1.814	2.760
Λοιπά έξοδα	200	200
Συνολικά λειτουργικά έξοδα	**25.636 ευρώ/ έτος**	**22.910 ευρώ/ έτος**
ΓΕΝΙΚΟ ΣΥΝΟΛΟ	**30.347 ευρώ/ έτος**	**28.985 ευρώ/ έτος**

Η δυναμικότητα του τεμαχιστή είναι 4 m^3 (1 t) ροκανιδιών η απόδοση σε όγκο είναι ασαφής καλύτερα σε βάροστην ώρα δηλαδή 32–40 m^3 (8–10 t) την ημέρα για 8ωρη έως 10ωρη λειτουργία αντίστοιχα. Δεδομένου ότι δεν θα εργάζεται στο μέγιστο των δυνατοτήτων του καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας για διάφορους λόγους όπως ανθρώπινοι παράγοντες, τροφοδοσία καυσίμου (σταθερός τεμαχιστής) αλλαγή θέσης ελκυστήρα για ευκολότερη τροφοδοσία (φερόμενος τεμαχιστής), μη ομαλή και συνεχής τροφοδοσία κ.λ.π., θεωρούμε ότι δεν θα αποδίδει το 100% των δυνατοτήτων του, αλλά το 60%. Αυτό μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι κατά μέσο όρο θα έχουμε, στην χειρότερη περίπτωση, 20 m^3 (5 t) ροκανιδιών την ημέρα. Άρα το δυναμικό παραγωγής θα είναι 3456 m^3 ροκανιδιών ανά έτος (864 τόνοι\έτος). Κατά συνέπεια, όπως φαίνεται και στον Πίνακα 7, το κόστος των ροκανιδιών θα κυμαίνεται μεταξύ 8.78 και 8.38 ευρώ/m^3 (33.55 με 35.87 ευρώ\t) ανάλογα με την μέθοδο.

Το συνολικό κόστος ενός τόνου τσιπς κλαδοδεμάτων κυμαίνεται από 44.6 έως 45.16 ευρώ. Δεδομένου ότι το καυσόξυλο ελιάς πωλείται από τον παραγωγό στην τιμή των 150 ευρώ ο τόνος (250 ευρώ στον καταναλωτή) περίπου, είναι φανερά πλέον τα περιθώρια εκμετάλλευσης των κλαδοδεμάτων που καταλήγουν σε ένα προϊόν (τσιπς) που είναι πολύ πιο εύκολα διαχειρίσιμο.

Επίσης γίνεται σαφές ότι σε όλες τις υπό εξέταση περιοχές οι παραγωγοί βλέπουν θετικά τη συλλογή και απομάκρυνση των παραγόμενων κλαδοδεμάτων από τις εκμεταλλεύσεις τους. Αυτό οφείλεται στο ότι θα απαλλαγούν από την υποχρέωση να τα απομακρύνουν μόνοι τους με ό,τι κέρδη συνεπάγεται αυτό (οι μέχρι σήμερα συνηθισμένες πρακτικές είναι η καύση ή η ενσωμάτωση τους στο έδαφος). Εκτός τούτου, θα πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι η απαγόρευση της καύσης των γεωργικών υπολειμμάτων θα οδηγήσει στο να γίνει η λύση της συλλογής και της ενεργειακής αξιοποίησης πιο ελκυστική.

Επίσης, δεδομένου ότι το περιθώριο κέρδους είναι σημαντικό, μπορεί να δοθεί χρηματική αποζημίωση στους παραγωγούς ως επιπλέον κίνητρο για τη συμμετοχή τους σε μια τέτοια πρωτοβουλία.

Πίνακας 6: Παραγόμενη ποσότητα ροκανιδιών, εκτιμώμενη και μέγιστη δυνατή.

Δυναμικό παραγωγής	***Εκτιμώμενη***	***Μέγιστη***
	4 m^3 \ ώρα	
Λειτουργία	8ωρη	10ωρη
Απόδοση	60%	100%
Παραγόμενη ποσότητα ροκανιδιών	**3.456 m^3 \ έτος ή 864 t\ έτος**	**7.200 m^3 \ έτος ή 1.800 t\ έτος**

Πίνακας 7: Κόστος παραγωγής ροκανιδιών.

ΚΟΣΤΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΡΟΚΑΝΙΔΙΩΝ ***Σταθερός τεμαχιστής Φερόμενος τεμαχιστής***		
Αποσβέσεις και τόκοι	4.711 ευρώ/ έτος	6.075 ευρώ/ έτος
Λειτουργικά έξοδα	14.809 ευρώ/ έτος	22.910 ευρώ/ έτος
ΣΥΝΟΛΙΚΑ ΕΞΟΔΑ	30.347 ευρώ/ έτος	28.985 ευρώ/ έτος
ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗ ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΡΟΚΑΝΙΔΙΩΝ	3.456 m^3 \ έτος ή 864 t\ έτος	3.456 m^3 \ έτος ή 864 t\ έτος
ΚΟΣΤΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΡΟΚΑΝΙΔΙΩΝ	**8.78 ευρώ \ m^3 ή 35.87 ευρώ \ t**	**8.38 ευρώ \ m^3 ή 33.55 ευρώ \ t**

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από την παρούσα εργασία φαίνεται ότι οι αγρότες σε μία εποχή που αναζητούν πηγές πρόσθετες εσόδων μπορούν με την αξιοποίηση των κλαδιών ελιάς να πετύχουνοικονομική βελτίωση πολλών τομέων της γεωργίας, καταργώντας το κόστος απόρριψης, ενσωμάτωσης ή καύσης και παρέχοντας εναλλακτικές πηγές εσόδων και νέες θέσεις εργασίας.

Επειδή η βιομάζα είναι ογκώδης και η μεταφορά της ακριβή, οι εγκαταστάσεις μετατροπής και αναβάθμισής της πρέπει να βρίσκονται στον τόπο παραγωγής.

Από τη βιομάζα μπορεί να εξαρτηθεί σημαντικά η ενεργειακή ασφάλεια πολλών κρατών που στερούνται ενεργειακών πηγών.

Δεδομένου ότι τα ροκανίδια (chips) κλαδοδεμάτων δεν αποτελούν εισαγόμενο καύσιμο, είναι φυσικό πως θα προτιμηθούν στο μέλλον, όχι μόνο για οικονομικούς λόγους αλλά και εθνικούς και κυρίως περιβαλλοντικούς .

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Maniatis K., 2004. European Commission Policies for the Promotion of *Bioenergy, European Commission*, pp. 317–334.
2. Feehan J., Petersen E., 2004. A Framework of Evaluating The Environmental Impact of Biofuel Use , *European Environment Agency (EEA)* , pp. 151–167.
3. Fulton L., 2004. International Energy Agency (IEA) Biofuel Study – Interim Report: Results and Key Messages so far, *OECD Publication Service*, pp.105 –112.
4. IEA, 2002. Energy policies of IEA countries. Greece 2002 Review
5. Kirjavainen M., Sipila K, Savola T. , Salomon M. , Alakangas E.,2004. Small–scale biomass CHP thechnologies, OPET Report 12.
6. Mackensen J., 2003. *Bioenergy, Carbon Sequestration and the Clean Development Mechanism of the Kyoto Protocol*, UN Environment Programme – Division of Policy Development and Law.
7. Huttner J., 2004. Genencor and Biobased Economy of the Future: an International Biotechnology Company 'Perspective on Biomass and Agriculture, *OECD Publication Service*, pp 531–537.
8. EUBIONET, 2002. *National Report , Greece* , Altener 4 , 1030\s\01–1000\2001
9. Mardikis M. , Nikolaou A. , Djouras N. and Panoutsou C., 2004. Agricoultoural Biomass in Greece: Current and Future Trents, *OECD Publication Service*, pp. 363–376.
10. Ξένος–Κοκολέτσης Π.,2007. *Οι κανονισμοί της Ευρωπαϊκής ένωσης και η βιομάζα ως πηγή ενέργειας. Έμφαση στα υπολείμματα κλαδοκάθαρου, Μεταπτυχιακή Διατριβή*, Γ.Π.Α., Σελ. 66.
11. Αποστολάκη Μ. , Κυρίτση Σ. , Σούτερ Χ., 1987. *Το ενεργειακό δυναμικό της βιομάζας , γεωργικών και δασικών υποπροϊόντων* , ΕΛΚΕΠΑ, Αθήνα .
12. Drondburg V. and Faaij A., 2001, Efficiency and economy of wood–fired biomass energy systems in relation to scale regarding heat and power generation using combastion and gasification technologies, *Biomass and Bioenergy* Vol. 21, pp. 91 – 108 .
13. Jenkins B.M., Baxter L.L., Miles T.R., 1998. Combustion properties of
14. biomass. *Fuel Processing Technology* 54(1–3), 17–46.
15. Strehler A., 1999. Technologies of wood combustion, *Ecological Engineering* Vol. 16, S25 S40.

16. Junichi F.,Kenji Y., Hiromi Y., 1999. Biomass–balance table for evaluating bioenergy resources , *Applied Energy* Vol. 63 , pp. 75 – 89.
17. Melvyn F., 2004. An overview of Biomaterials, *OECD Publication Service*, pp 77–88.

(143)

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ ΣΤΗΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΔΥΟ ΠΟΙΚΙΛΙΩΝ ΗΛΙΑΝΘΟΥ ΣΤΗΝ ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΕΛΛΑΔΑ

Τσιάνος Ν., Θ. Γέμτος, Χ. Καβαλάρης και Χ. Καραμούτης.
Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας,
Οδός Φυτόκου, 38446 Ν.Ιωνία Μαγνησίας, niktsian@yahoo.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η στροφή της γεωργίας στις ενεργειακές καλλιέργειες για την παραγωγή βιοκαυσίμων είναι έντονη τα τελευταία χρόνια. Από τα επικρατέστερα ενεργειακά φυτά για τη χώρα μας είναι ο ηλίανθος. Σε ένα πείραμα μελετήθηκαν δυο ποικιλίες ηλίανθου ως προς το φύτρωμα, την ανάπτυξη και την απόδοση με πέντε διαφορετικά συστήματα κατεργασίας. Η συμβατική κατεργασία με άροση έδωσε την υψηλότερη απόδοση (445 kg/στρ) ενώ οι μέθοδοι που χρησιμοποιούσαν βαρύ καλλιεργητή, περιστροφικό σκαπτικό και δισκοσβάρνα κυμάνθηκαν στα 355, 341 και 332 kg/στρ αντίστοιχα. Οι απώλειες της μηχανοσυλλογής κυμάνθηκαν στα 15,6%.

SOIL TILLAGE EFFECT ON TWO VARIETIES OF SUNFLOWER CROP IN CENTRAL GREECE

Tsianos N., T.A. Gemtos, C. Cavalaris, and C. Karamoutis,
Laboratory of Farm Mechanisation, University of Thessaly, Fytoko street, N.Ionia,
38446 Magnesia, niktsian@yahoo.gr

ABSTRACT

The tendency in agriculture in the last years is the bio-fuel production. One of the most important crops for this purpose is sunflower. An experiment was established to test the performance of two sunflower varieties under five tillage systems. The crop emergence, plant development during the growing period and final yield were monitored. Conventional tillage using a plough for primary tillage gave the highest yield (445 kg/strema). Reduced tillage with a heavy cultivator, reduced with a power harrow and reduced with a disk harrow gave reduced yields of 355, 341 και 3312 kg/stream respectively. Losses during mechanical harvesting was 15,6%

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η χώρα μας έχει αναλάβει την υποχρέωση να καλύψει το 5,75% της κατανάλωσης καυσίμων για τις μεταφορές από ΑΠΕ ως το 2010. Σήμερα τα υλικά για υποκατάσταση του πετρελαίου είναι τα φυτικά λάδια και οι εστέρες τους και της βενζίνης οι αλκοόλες. Υποψήφια φυτά για παραγωγή των φυτικών ελαίων είναι αυτά που έχουν υψηλή περιεκτικότητα ελαίου στους σπόρους τους όπως η ελαιοκράμβη και ο ηλίανθος. Ο ηλίανθος θεωρείται από τις επικρατέστερες ενεργειακές καλλιέργειες για τις Ελληνικές συνθήκες καθώς σύμφωνα με παλιότερες αναφορές ευδοκιμεί στη χώρα μας [2] έχοντας πολύ καλή απόδοση σπόρου/ελαίου από τον οποίο μπορεί να παραχθούν άριστης ποιότητας βιοκαύσιμα ενώ η πίτα που παράγεται ως υπο-προιόν της ψυχρής συμπίεσης του σπόρου αποτελεί άριστη ζωοτροφή και τέλος τα φυτικά υπολείμματα που μένουν στο χωράφι μετά τη συγκομιδή μπορούν να συλλεχθούν, να συμπιεστούν σε πελλέτες και να χρησιμοποιηθούν ως στερεό καύσιμο. Στα έμμεσα πλεονεκτήματα της καλλιέργειας είναι ότι το προϊόν είναι «καθαρό» καύσιμο, προσφέροντας σημαντικά περιβαλλοντικά οφέλη.

Ο ηλίανθος (Helianthus annuus L.) ανήκει στην οικογένεια Compocidae. Είναι εύρωστο φυτό με βαθύ ριζικό σύστημα, με πασσαλώδη ρίζα, που βρίσκεται σε βάθος 60 – 70 cm και προσφέρει μεγάλη αντοχή στο πλάγιασμα. Η ταξιανθία του στις ελαιούχες ποικιλίες έχει 700 – 3000 άνθη. Η ανθοφορία του αρχίζει περιφερειακά, συνεχίζεται προς το κέντρο και ολοκληρώνεται σε 5 – 10 ημέρες. Χαρακτηριστικό της καλλιέργειας, είναι ο ηλιοτροπισμός, δηλαδή η τάση των ταξιανθιών να ακολουθούν την πορεία του ήλιου κατά την ημέρα ενώ το βράδυ ανορθώνονται [1, 2].

Για να χρησιμοποιηθεί ένα φυτό ως ενεργειακή καλλιέργεια θα πρέπει να περιλαμβάνει μια παραγωγική διαδικασία με περιορισμένες ενεργειακές απαιτήσεις έτσι ώστε στο τέλος να δίνει ένα σημαντικό ενεργειακό κέρδος. Σημαντική επομένως προϋπόθεση αποτελεί η μείωση του κόστους παραγωγής μέσω της μείωσης των εισροών στο στάδιο της παραγωγής. Η παρούσα εργασία ασχολείται με την διερεύνηση της δυνατότητας χρήσης μεθόδων μειωμένων εισροών για την κατεργασία του εδάφους στην καλλιέργεια του ηλίανθου.

Ο όρος κατεργασία περιλαμβάνει όλες εκείνες τις επεμβάσεις που γίνονται στο έδαφος με σκοπό τη δημιουργία καλών συνθηκών αερισμού, στράγγισης και διείσδυσης της ρίζας. Τα μηχανήματα που χρησιμοποιούνται για το σκοπό αυτό χαρακτηρίζονται ως μηχανήματα κατεργασίας του εδάφους και ασκούν τάσεις οι οποίες προκαλούν διάτμηση, εφελκυσμό και συμπίεση [3]. Στόχοι της κατεργασίας είναι το ψιλοχωμάτισμα της επιφανειακής στοιβάδας του εδάφους και η βελτίωση των φυσικών χαρακτηριστικών του, ο έλεγχος των ζιζανίων, η διαχείριση των φυτικών υπολειμμάτων, η ενσωμάτωση λιπασμάτων, η καταπολέμηση εντόμων, η ισοπέδωση και διαμόρφωση του εδάφους για άρδευση [3]. Η κατεργασία διακρίνεται σε δύο στάδια Στην πρωτογενή κατεργασία, στην οποία γίνεται βαθιά αναμόχλευση του εδάφους cm. και στη δευτερογενή κατεργασία που στόχος της είναι η προετοιμασία της σποροκλίνης. Στα μηχανήματα πρωτογενούς κατεργασίας απαντώνται τα άροτρα, τα δισκάροτρα, οι υπεδαφοκαλλιεργητές, οι εδαφοσχίστες και οι βαρείς καλλιεργητές. Μηχανήματα δευτερογενούς κατεργασίας είναι οι δισκοσβάρνες, οι ελαφρείς καλλιεργητές και τα δυναμοδοτούμενα σκαπτικά (φρέζες, βωλοκόποι) [3]. Έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί στην χώρα μας δείχνουν ότι η άροση είναι η πιο ενεργοβόρα μέθοδος κατεργασίας. [4]. Στην παρούσα εργασία εξετάζεται η δυνατότητα υποκατάστασης του αρότρου με άλλα λιγότερο ενεργοβόρα μηχανήματα όπως ο βαρύς καλλιεργητής και ο περιστροφικός καλλιεργητής (βωλοκόπος).

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Στο πείραμα συγκρίθηκαν πέντε διαφορετικές μέθοδοι κατεργασίας.

1. Συμβατική κατεργασία (Σ). Κύριο χαρακτηριστικό της συμβατικής κατεργασίας είναι η χρήση αρότρου. Ξεχωρίζει από τις άλλες κατεργασίες γιατί είναι η μόνη που προκαλεί αναστροφή του εδάφους. Το όργωμα έγινε σε βάθος 27cm στις 6/12/05. Η δευτερογενής κατεργασία περιλάμβανε πέρασμα με δισκοσβάρνα στις 29/3/06, δύο περάσματα με ελαφρύ καλλιεργητή στις 31/3/06 και ενσωμάτωση treflan με δισκοβάρνα στις 11/4/06.
2. Κατεργασία με βαρύ καλλιεργητή (ΒΚ). Η κατεργασία έγινε σε βάθος 18 cm. Για την προετοιμασία της σποροκλίνης έγινε στις 27/3/06, κατεργασία με δισκοσβάρνα στις 29/3/06, δύο περάσματα με ελαφρύ καλλιεργητή στις 31/3/06 και επίσης ενσωμάτωση treflan στις 11/4/06 με δισκοσβάρνα.
3. Κατεργασία με περιστροφικό σκαπτικό με κατακόρυφα ελάσματα (ΠΣ). Το τρίτο σύστημα μειωμένης κατεργασίας περιελάμβανε κατεργασία με περιστροφικό σκαπτικό σε βάθος 13 cm στις 29/3/06 και ενσωμάτωση treflan με δισκοσβάρνα στις 11/4/06.
4. Κατεργασία με δισκοσβάρνα (Δ). Ένα πέρασμα έγινε στις 27/3/06 και ένα δεύτερο στις 29/3/06. Η κατεργασία ολοκληρώθηκε με ένα περάσματα με ελαφρύ καλλιεργητή στις 31/3/06 και ενσωμάτωση treflan με δισκοσβάρνα στις 11/4/06.
5. Ακαλλιέργεια (Α). Η πέμπτη μέθοδος περιλάμβανε τη μη κατεργασία του εδάφους, τη σπορά πάνω από τα φυτικά υπολείμματα της προηγούμενης χρονιάς και την καταστροφή των ζιζανίων με εφαρμογή roundup πριν από το φύτρωμα της καλλιέργειας. Η μέθοδος αυτή δεν απέδωσε επαρκές φύτρωμα διότι η μηχανή που χρησιμοποιήθηκε για την σπορά δεν ήταν κατάλληλη για σπορά σε ακαλλιέργητο έδαφος και γι αυτό στην συνέχεια εγκαταλείφθηκε και αποκλείστηκε από τις στατιστικές αναλύσεις του πειράματος.

Το πείραμα πραγματοποιήθηκε στο Αγρόκτημα του Π.Θ. στο Βελεστίνο Μαγνησίας. Το σχήμα του πειράματος ήταν ορθογώνιο με διαστάσεις 57 Χ 120m. (6,84 στρ) και περιλάμβανε 4 επαναλήψεις. Η κάθε επανάληψη είχε τυχαιοποιημένες τις πέντε μεταχειρίσεις (Σ, ΒΚ, ΠΣ, Δ, Α). Τα τεμάχια των κατεργασιών είχαν διαστάσεις 6Χ57 m και ήταν υποδιαιρεμένα κατά μήκος σε υπο-τεμάχια διαστάσεων 3Χ57 m. Στα υποτεμάχια σπάρθηκαν δύο ποικιλίες ηλιάνθου. Μια όψιμη (Garysol) και μια πρώιμη (Frankasol). Σε κάθε πειραματικό τεμάχιο σπάρθηκαν από 4 γραμμές από τη κάθε ποικιλία. Το πειραματικό σχέδιο επομένως ήταν πλήρως τυχαιοποιημένες ομάδες με υπο-ομάδες. Το έδαφος του πειραματικού αγρού χαρακτηρίζεται ιλυο-αργιλώδες (Άμμος: 9,7%, ιλύς 41% και άργιλος 49,2%).

Σε όλες τις μεταχειρίσεις έγινε βασική λίπανση στις 8/4/06 με 25kg/στρ 11–15–15, ζιζανιοκτονία προσπαρτική με *treflan* 300g/στρ στις 11/4/06 και μετασπαρτική με *prometryne* 250 g/στρ την ίδια μέρα. Στις 11/4/06 έγινε και η σπορά των δύο ποικιλιών ηλιάνθου (Garysol και Frankasol) με πνευματική μηχανή σε πλάτος μεταξύ των γραμμών των γραμμών 0,75cm και βάθος σποράς 3cm. Η πυκνότητα σποράς καθορίστηκε σύμφωνα με τις υποδείξεις της σποροπαραγωγού εταιρίας (η Garysol σε αποστάσεις επί της γραμμής 14,5 cm και η Frankasol 19,4cm. Αν και η σπορά έγινε σε έδαφος ημι – υγρό η υγρασία αυτή δεν φάνηκε αρκετή για την βλάστηση των σπόρων γι' αυτό και στις 20/4/06 έγινε πότισμα με καταιονισμό Στη συνέχεια απλώθηκαν ανά δεύτερη γραμμή σταλακτηφόροι σωλήνες με τους οποίους πραγματοποιήθηκαν συνολικά τέσσερις αρδεύσεις. Οι τρεις πρώτες (21/6, 29/6, 17/7) με δόση άρδευσης 60 m^3/στρ και η τέταρτη στις 20/7 με 40 m^3/στρ. Επιπλέον, κατά το διάστημα της ανάπτυξης της καλλιέργειας καταγράφηκαν και τέσσερις ασθενείς βροχοπτώσεις στις 29/4/06 (9,5mm), στις 6/6/06 (10mm), στις 12-13/6/06 (17,5mm) και στις 4/7/06 (8mm)

καθώς και μία ισχυρή βροχόπτωση (47,8mm) στις 25/5/06 σε ένα σημείο κρίσιμο για την καλλιέργεια, βοηθώντας σημαντικά στην ανάπτυξή της.

Κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου μετρήθηκαν το φύτρωμα, η βλαστική ανάπτυξη και η απόδοση των δύο ποικιλιών. Για τη μέτρηση του φυτρώματος σε κάθε τεμάχιο σημαδεύτηκαν πέντε γραμμές δειγματοληψίας μήκους 5 m όπου μετρήθηκαν τα φυτρωμένα φυτά σε δύο ημερομηνίες, η πρώτη (28/4/06) μια εβδομάδα μετά το πότισμα και η δεύτερη (4/5/06) δύο εβδομάδες μετά το πότισμα. Για τη μελέτη της βλαστικής ανάπτυξης έγιναν τέσσερις μετρήσεις του ύψους των φυτών σε διάστημα επτά εβδομάδων (μέχρι την ολοκλήρωση του βλαστικού σταδίου). Για τις μετρήσεις αυτές σημαδεύτηκαν 15 τυχαία φυτά σε κάθε πειραματικό τεμάχιο.

Για την ανθοφορία καταγράφηκε η ημερομηνία έναρξης αυτής για κάθε μεταχείριση και πάρθηκαν μακροσκοπικές παρατηρήσεις της εξέλιξης του σταδίου. Οι μετρήσεις αυτές πάρθηκαν βαθμολογώντας την άνθηση των φυτών στην κλίμακα: 0%, 20%, 40%, 60% 80% και 100%

.Η συγκομιδή της καλλιέργειας έγινε στις 21/8/06 με μια ειδική μηχανή συγκομιδής πειραματικών τεμαχίων που διαθέτει το Αγρόκτημα του Π.Θ. (Hege 125C). Η μηχανή διέθετε σύστημα θερισμού σιτηρών και κατάλληλα κόσκινα για τον αλωνισμό του ηλίανθου. Κάθε πειραματικό τεμάχιο συγκομίστηκε ξεχωριστά και μετρήθηκε επι τόπου στον αγρό η απόδοση σε σπόρο. Επιπλέον λήφθηκαν δείγματα σπόρου από κάθε τεμάχιο για προσδιορισμό της υγρασίας. Για την σύγκριση των αποδόσεων έγινε αναγωγή των δεδομένων σε κοινή υγρασία 10%.

Πριν από την μηχανική συλλογή, έγινε ενδεικτική χειροσυλλογή σε γραμμές μήκους 2 m για να ελεγχθούν οι απώλειες της μηχανής. Κατά την χειροσυλλογή συλλέχθηκαν οι κεφαλές του ηλίανθου οι οποίες τοποθετήθηκαν στην θεριζοαλωνιστική για αλωνισμό και ζυγίστηκε το βάρος των σπόρων.

Για την στατιστική ανάλυση των δεδομένων χρησιμοποιήθηκε το στατιστικό πακέτο MSTAT-C Επιλέχθηκε το σχέδιο πλήρως τυχαιοποιημένων ομάδων με δύο παράγοντες με το οποίο έγινε ανάλυση της παραλλακτικότητας των παραμέτρων που μετρήθηκαν και υπολογίστηκαν οι μέσοι όροι και οι ελάχιστες σημαντικές διαφορές για περιθώριο σφάλματος 5%.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

3.1 Φύτρωμα

Το φύτρωμα της ποικιλίας Frankasol ήταν καλύτερο, 81% έναντι 67,7% για την Garysol. Σε επίπεδο κατεργασιών (Πίνακας 1) η μέθοδος ΒΚ εμφάνισε το υψηλότερο φύτρωμα 82%, ακολούθησε η Σ με 72,2%, η ΠΚ 71,3% και η Δ με 71,9%. Σε όλες τις μεταχειρίσεις το φύτρωμα και οι τελικοί πληθυσμοί που επιτεύχθηκαν κρίνονται ικανοποιητικοί. Εξαίρεση αποτελεί η μέθοδος της ακαλλιέργεια όπου η φυτρωτική ικανότητα κυμάνθηκε κάτω από 10% και γι αυτό η μέθοδος αποκλείστηκε από την στατιστική ανάλυση και εγκαταλείφθηκε στις υπόλοιπες μετρήσεις.

3.2 Βλαστική ανάπτυξη

Η βλαστική ανάπτυξη της καλλιέργειας ήταν εντυπωσιακή καθώς τα φυτά απέκτησαν το μισό τελικό τους ύψος μέσα σε 15 ημέρες, το οποίο δεν διέφερε σημαντικά για τις δύο ποικιλίες (1,44 m για Garysol και 1,43 για Frankasol). Σε επίπεδο κατεργασιών οι διαφορές επίσης δεν ήταν σημαντικές όπως φαίνεται και στο Σχήμα 1.

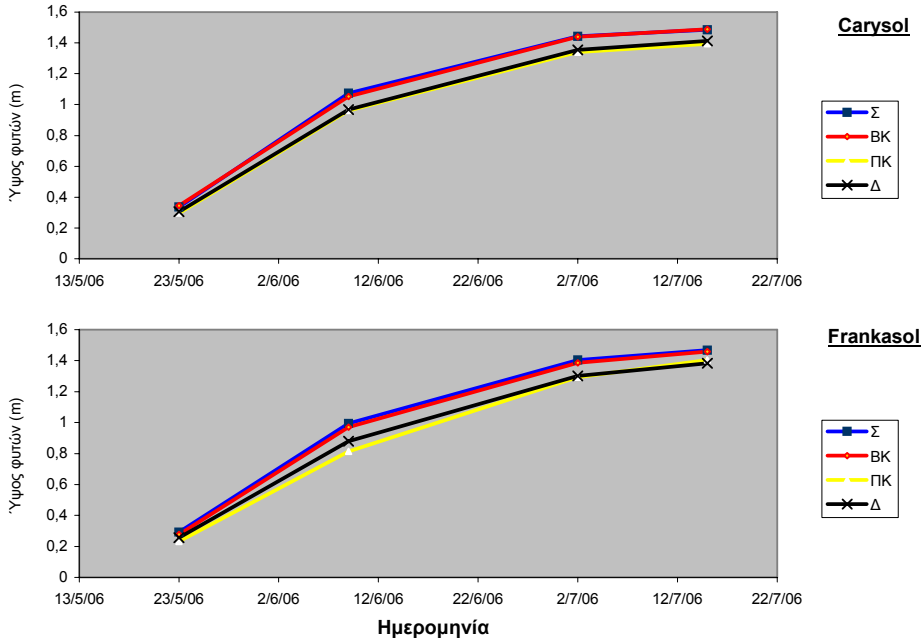
3.3 Ανθοφορία

Διαφορές διαπιστώθηκαν τόσο μεταξύ των ποικιλιών όσο και μεταξύ των κατεργασιών. Συγκρίνοντας τις ποικιλίες στην συμβατική κατεργασία προκύπτει ότι η

ανθοφορία ξεκίνησε στις 11/6/06 για την ποικιλία Garysol και στις 17/6/06 για την Frankasol. Στις 19/6/06 στην Garysol είχε ανθίσει το 80% των φυτών. και στην Frankasol το 10%. Στις 22/6 η Garysol βρισκόταν σε 100% άνθηση και η Frankasol σε 70%. Συγκρίνοντας τις κατεργασίες στην ποικιλία Garysol προέκυψε ότι στις 19/6/06 στην μέθοδο Σ είχε ανθήσει το 80% των φυτών, στη μέθοδο ΒΚ το 50% και στις μεθόδους ΠΣ και Δ το 15%. Στις 22/6 τα αντίστοιχα ποσοστά ήταν 100%, 85% και 15%. Ανάλογα αποτελέσματα, με πιο όψιμη όμως εξέλιξη, προέκυψαν και για την ποικιλία Frankasol.

Πίνακας 1. Φύτρωμα των δυο ποικιλιών ηλίανθου και των πέντε μεθόδων κατεργασίας

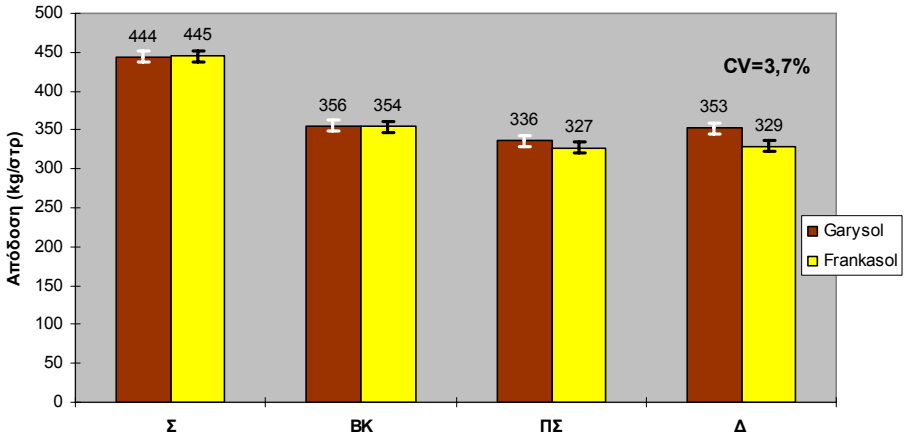
	Φύτρωμα (φυτά/στρ)		**Φυτρωτική ικανότητα (%)**	
	28/4/06	**4/5/06**	**28/4/06**	**4/5/06**
Garysol	3123	6223	34,0	67,7
Frankasol	3180	5570	46,3	81,0
	ns	ns	*	*
$LSD_{0,5\%}$			8,2	8,2
Σ	3127	5713	39,7	72,2
ΒΚ	3747	6487	48,0	82,0
ΠΣ	2600	5680	33,1	71,3
Δ	3133	5707	39,7	71,9
	*	**	*	**
$LSD_{0,5\%}$	707	504	8,9	6,6
CV(%)	21	8	21,0	8,4



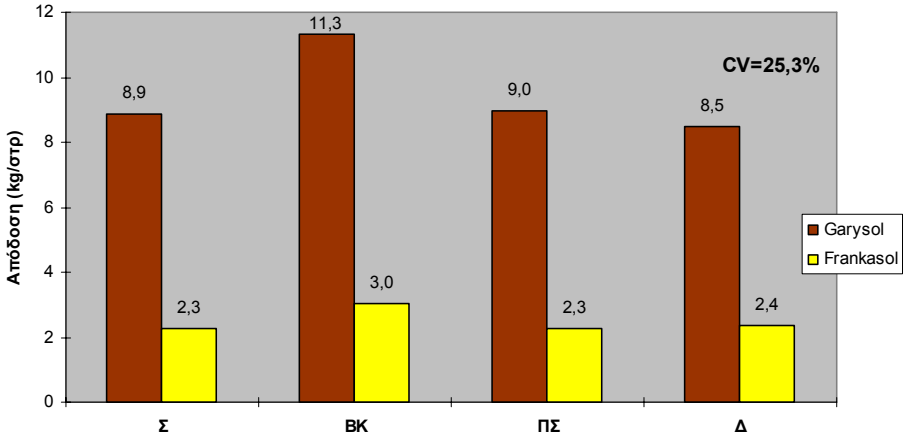
Σχήμα 1. Εξέλιξη του βλαστικού σταδίου (ύψος φυτών) του ηλίανθου

3.4 Απόδοση

Στο Σχήμα 2 απεικονίζεται η απόδοση των δύο ποικιλιών του ηλίανθου στις πέντε μεθόδους κατεργασίας. Συγκρίνοντας τις δύο ποικιλίες, η Garysol έδωσε ελαφρώς υψηλότερη παραγωγή (372 kg/στρ) έναντι 364 kg/στρ για τη Frankasol, διαφορά που ωστόσο δεν ήταν στατιστικώς σημαντική. Συγκρίνοντας τις μεθόδους κατεργασίας προκύπτει ότι σημαντικά υψηλότερη απόδοση και για τις δύο ποικιλίες, έδωσε η συμβατική κατεργασία (μέσο όρο ποικιλιών 445 kg/στρ). Οι υπόλοιπες τρεις μέθοδοι κυμάνθηκαν αρκετά χαμηλότερα (μέσο όρο ποικιλιών 355 kg/στρ στη μέθοδο ΒΚ και 331-340 kg/στρ στις μεθόδους ΠΣ και Δ) δίνοντας μια μείωση της παραγωγής της τάξης του 75-80%.



Σχήμα 2. Απόδοση (για υγρασία σπόρου 10%) των δύο ποικιλιών ηλίανθου στις τέσσερις μεταχειρίσεις κατεργασίας του εδάφους



Σχήμα 3. Υγρασία σπόρου των δύο ποικιλιών ηλίανθου στις τέσσερις μεταχειρίσεις κατεργασίας του εδάφους.

Εξετάζοντας την υγρασία του σπόρου (Σχήμα 3) κατά τη συγκομιδή προκύπτει ότι η ποικιλία Garysol είχε ποσοστό 9,4% υγρού βάρους και η Frankasol 2.5% επιβεβαιώνοντας την οψιμότητα της πρώτης Στις κατεργασίες διακρίνεται μια τάση για

υψηλότερη υγρασία τον σπόρο στην μέθοδο ΒΚ αν και ο υψηλός συντελεστής παραλλακτικότητας για την παράμετρο αυτή δεν επέτρεψε την αποκάλυψη στατιστικώς σημαντικών διαφορών μεταξύ των κατεργασιών.

Στον πίνακα 2 φαίνεται η θεωρητική απόδοση (για υγρασία σπόρου 10%) όπως αυτή προκύπτει από την χειροσυλλογή και συγκρίνεται με την πραγματική απόδοση της μηχανοσυλλογής. Από τα στοιχεία του πίνακα φαίνεται ότι οι μέσες απώλειες εξαιτίας της μηχανοσυλλογής κυμαίνονται στο 15,6%.

Πίνακας 2. Ποσοστό απωλειών της μηχανοσυλλογής

	Σ	**ΒΚ**	**ΠΣ**	**Λ**
Μηχανοσυλλογή	444,4kg	355,1kg	331,6kg	341kg
Χειροσυλλογή	522,9kg	426,5kg	391kg	403,5kg
Απώλειες (%)	15	16,7	15,2	15,5

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Οι δύο ποικιλίες του ηλίανθου συμπεριφέρθηκαν το ίδιο στις διαφορετικές μεθόδους κατεργασίας. Το φύτρωμα ήταν ικανοποιητικό για όλες τις μεθόδους που δοκιμάστηκαν (με εξαίρεση την ακαλλιέργεια όπου στην σποροκλίνη επικρατούν ιδιαίτερες συνθήκες που απαιτούν την χρήση κατάλληλης σπαρτικής. Η εξέλιξη της βλάστησης δεν παρουσίασε διαφορές ούτε μεταξύ των ποικιλιών ούτε μεταξύ των κατεργασιών. Διαφορές ωστόσο διαπιστώθηκαν στο στάδιο της ανθοφορίας, Η όψιμη ποικιλία (Garysol) άνθησε νωρίτερα και η πρώιμη (Frankasol) αργότερα. Πρωίμηση του σταδίου ανθοφορίας διαπιστώθηκε επίσης και για την συμβατική κατεργασία.. Οσον αναφορά την τελική παραγωγή, δεν διαπιστώθηκαν διαφορές μεταξύ των ποικιλιών, αλλά μεταξύ των κατεργασιών διαπιστώθηκε ότι η συμβατική κατεργασία με άροση έδωσε σημαντικά υψηλότερη απόδοση (445 kg/στρ) από όλες τις υπόλοιπες μεθόδους. Οι απώλειες της μηχανοσυλλογής κυμάνθηκαν στο 15,6%.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Αμπατζόγλου Κ. (1979), Ηλίανθος. *Ινστιτούτο Βάμβακος και Βιομηχανικών φυτών*, Σίνδος, σελ. 193-196.
2. Γαλανοπούλου Στ. (2002). Βιομηχανικά φυτά Μέρος Β΄ σελ. 199-213.
3. Τσατσαρέλης Κ. (2000), Αρχές μηχανικής κατεργασίας του εδάφους και σποράς Θεσσαλονίκη 2000, σελ. 39-54, 287-314.
4. Καβαλάρης Χ. (2004). Εφαρμογή μεθόδου μειωμένων εισροών για την κατεργασία εδάφους σε συστήματα αμειψισποράς ζαχαροτεύτλων, καλαμποκιού και βαμβακιού. Μεταπτυχιακή Διατριβή. Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

(154)

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΕΛΑΙΟΚΡΑΜΒΗΣ (*Brassica sp.*) ΓΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΒΙΟΝΤΗΖΕΛ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΛΑΡΙΣΑΣ

Ι. Ραμνιώτης , Θ. Κωτσόπουλος, Γ. Μαρτζόπουλος
Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Γεωπονική Σχολή, Εργαστήριο Εναλλακτικών Ενεργειακών Πόρων στη Γεωργία, 54124 Θεσσαλονίκη, e-mail: yiannisram@yahoo.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στη συγκεκριμένη εργασία διερευνάται η προσαρμοστικότητα, η ανάπτυξη και η παραγωγικότητα της καλλιέργειας της ελαιοκράμβης (Brassica sp.) στις ελληνικές συνθήκες και ειδικότερα στο Ν. Λάρισας. Οι ποικιλίες και τα υβρίδια της ελαιοκράμβης που καλλιεργήθηκαν κατά την περίοδο 2005-2006 παρουσίασαν καλή προσαρμοστικότητα και ικανοποιητικές αποδόσεις από 3550 έως 3905 Kg/ha ανάλογα με την ποικιλία. Ιδιότητες όπως, η περιεκτικότητα των σπόρων σε λάδι, η υγρασία (%) των σπόρων, το κινηματικό ιξώδες στους 40°C και η πυκνότητα στους 15°C του παραγόμενου λαδιού, ήταν σύμφωνες με αυτές που αναφέρονται στη βιβλιογραφία για το κραμβέλαιο.

EXPERIMENTAL CULTIVATION OF RAPESEED (*Brassica sp.*) FOR BIODIESEL PRODUCTION IN THE REGION OF LARISSA

I. Ramniotis, T. Kotsopoulos, G. Martzopoulos
Aristotle University of Thessaloniki, Sch. of Agriculture, Lab . Alternative Energy Sources in Agriculture, 54124 Thessaloniki , e-mail: yiannisram@yahoo.gr

ABSTRACT

The adaptability, the growth and the productivity of rapeseed (Brassica sp.) under the Greek conditions and more specifically in the prefecture of Larissa were investigated. The rapeseed varieties and hybrids that were cultivated during 2005-2006, presented a good adaptability and satisfactory yields ranging 3550 - 3905 Kg/ha according to the variety. Properties like seed oil content, seed water content (%) as well as kinematic viscosity at 40°C and density at 15°C of produced oil were in accordance with those already reported in the bibliography for the rapeseed oil.

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ανάπτυξη της αγροτικής παραγωγής στη χώρα μας θα επηρεαστεί από τη σταδιακή ανάπτυξη των ενεργειακών καλλιεργειών, οι οποίες πιθανόν να αντικαταστήσουν άλλες καλλιέργειες. Οι ενεργειακές καλλιέργειες αποτελούν την πρώτη ύλη για την παραγωγή βιοντήζελ και βιοαιθανόλης. Στην Ευρώπη το λάδι της ελαιοκράμβης είναι το πιο σύνηθες φυτικό έλαιο για την παραγωγή βιοντήζελ λόγω των συγκριτικών πλεονεκτημάτων του έναντι άλλων ελαίων [1]. Η καλλιέργεια της ελαιοκράμβης (Brassica sp.) παρουσιάζει ιδιαίτερο καλλιεργητικό ενδιαφέρον για τη χώρα μας, καθώς προσαρμόζεται ικανοποιητικά στις εγχώριες κλιματ/κές συνθήκες.

Η ελ/βη είναι ετήσιο ελαιοδοτικό φυτό μεσογειακής προέλευσης, και ανήκει στην οικογένεια των σταυρανθών ή βρασσικίδων *(Cruciferae or Brassicacae)*. Ευδοκιμεί στην υποτροπική ζώνη, παρουσιάζει καλή προσαρμοστικότητα στην κεντρική και βόρεια Ευρώπη και πολλαπλασιάζεται με σπόρο. Ευνοείται στα καλά στραγγιζόμενα και μέσης σύστασης εδάφη [2]. Το pH του εδάφους στο οποίο αναπτύσσεται κυμαίνεται μεταξύ 5,5 και 8,0, με άριστο εύρος ανάπτυξης μεταξύ 6,5 και 7,5. Επειδή ο σπόρος της είναι πολύ μικρός, είναι απαραίτητη η καλή προετοιμασία της σποροκλίνης ώστε να εξασφαλισθεί σωστό βάθος σποράς και ομοιόμορφο φύτρωμα. Η ανάπτυξη της ευνοείται σε περιοχές με ήπιο χειμώνα. Ωστόσο, η αντοχή της στους παγετούς είναι υψηλή όταν βρίσκεται στο κατάλληλο στάδιο όπως είναι το στάδιο της ροζέτας [3,4]. Χρησιμοποιείται στην αμειψισπορά με χειμωνιάτικα σιτηρά, ψυχανθή, καλαμπόκι και ζαχαρότευτλα. Απαιτεί μέτρια λίπανση με Ν και Ρ και πιο αυξημένη με Κ.

Η ελαιοκράμβη σε μικρή κλίμακα καλλιεργείται για τα νεαρά φύλλα της τα οποία είναι για ανθρώπινη κατανάλωση, κυρίως όμως χρησιμοποιείται ως πρώτη ύλη για την παραγωγή βιοκαυσίμων και βρώσιμου λαδιού. Επιπλέον το κραμβέλαιο χρησιμοποιείται στη βιομηχανία τροφίμων ως λιπαντικό καθώς και στην παραγωγή σαπουνιού [5] . Μετά την εξαγωγή του λαδιού, τα υπολείμματά της (η λεγόμενη πίτα ή πλακούντας) χρησιμοποιούνται σαν ζωοτροφή καθώς είναι πλούσια σε πρωτεΐνη. Ο σπόρος της ελαιοκράμβης έχει κατά μέσο όρο μεγάλη περιεκτικότητα σε λάδι και σε πρωτεΐνη, 30-50% και 10-45% αντίστοιχα επί της ξηράς ουσίας [6]. Οι φυσικές και χημικές ιδιότητες του ελαίου της ελαιοκράμβης είναι πολύ κοντά σε αυτές του ντήζελ [7]. Ωστόσο, δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί αυτούσια το κραμβέλαιο στις μηχανές diesel χωρίς κάποια επεξεργασία καθώς το κινηματικό ιξώδες των φυτικών ελαίων συμπεριλαμβανομένου και του κραμβελαίου είναι 10 – 20 φορές μεγαλύτερο από αυτό του No 2 Diesel (2.7 mm^2/s) (*Πίνακας 1*)**.**

Πίνακας 1. Κινηματικό ιξώδες φυτικών ελαίων και των μεθυλεστέρων τους από μετεστεροποίηση (στους 311 K σε mm^2/s)**.** [8].

Εξεταζόμενο δείγμα	**Σπόρος βαμβακιού**	**Πυρήνας φουντουκιού**	**Σπόρος ελαιοκράμβης**	**Σπόρος καρδάμου**	**Σπόρος ηλιάνθου**
Φυτικό έλαιο	33.7	24.0	**37.3**	31.6	34.4
Μεθυλεστέρας του φυτικού ελαίου	3.1	2.8	**3.3**	2.9	3.2

Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για τη μείωση του κινηματικού ιξώδους των βιο-ελαίων είναι: α) η ανάμιξη τους με συμβατικό ντήζελ, β) η δημιουργία μικρογαλακτωμάτων, γ) η πυρόλυση, δ) η καταλυτική διάσπαση και ε) η μετεστεροποίηση. Από τις μεθόδους αυτές, η καλύτερη επιλογή θεωρείται η μετεστεροποίηση [9, 10].

Η κατάλληλη επεξεργασία του κραμβελαίου οδηγεί στην παραγωγή βιοντήζελ με ιδιότητες πολύ κοντά σε αυτές του συμβατικού ντήζελ (*Πίνακας 2*).

Πίνακας 2. Βασικές ιδιότητες Biodiesel και No 2 Diesel [11,12]

Ιδιότητα	Biodiesel	No 2 Diesel
Πυκνότητα (kg/L)	0,87 – 0,89	0,84 – 0,86
Αριθμός κετανίου	46 – 70	47 – 55
Σημείο θόλωσης (K)	262 – 289	256 – 265
Σημείο ροής (K)	258 – 286	237 – 243
Σημείο ανάφλεξης(K)	408 – 423	325 – 350
Θείο (wt%)	0,0000 – 0,0024	0,04 – 0,01
Τέφρα (wt%)	0,002 – 0,01	0,06 – 0,01
Αριθμός Ιωδίου	60 – 135	-
Κινηματικό Ιξώδες 313 K	3,7 – 5,8	1,9 – 3,8
Ανώτ .Θερμ. Δύναμη MJ/kg	39,3 – 39,8	45,3 – 46,7

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Δυο (2) ποικιλίες και δύο (2) υβρίδια Brassica napus (*Πίνακας 3*) αξιολογήθηκαν σε πείραμα που εγκαταστάθηκε στη Λάρισα, στο αγρόκτημα του ΤΕΙ κατά την καλλιεργητική περίοδο 2005 – 2006. Το πειραματικό σχέδιο που εφαρμόστηκε ήταν πλήρεις τυχαιοποιημένες ομάδες (Randomized Complete Blocks – RCB) με 4 επαναλήψεις και το μέγεθος του πειραματικού τεμαχίου ήταν 2mX4m=8m^2.

Πίνακας 3. Ποικιλίες και υβρίδια Brassica napus που αξιολογήθηκαν

Ποικιλίες Brassica napus	Υβρίδια Brassica napus
VECTRA	PR46W31
LICOLLY	PR45D01

Ο πειραματικός αγρός είχε συνολική έκταση 19 m x 11 m = 209 m^2 και προερχόταν από αγρανάπαυση. Για την προετοιμασία του εδάφους εφαρμόστηκε το σύστημα της μειωμένης κατεργασίας(με καλλιεργητή βαρέος τύπου). Η σπορά πραγματοποιήθηκε στις 25 Νοεμβρίου, με πυκνότητα περίπου 600.000 σπόροι/ha. Η απόσταση μεταξύ των γραμμών ήταν 0,3 m. Το βάθος σποράς ήταν 0,5 – 1,5 cm. Πριν τη σπορά, έγινε βασική λίπανση και συγκεκριμένα στις 5 Νοεμβρίου, έγινε προσθήκη των θρεπτικών στοιχείων N, P, K σε δόσεις 4, 4 και 6 λιπαντικές μονάδες/στρέμμα, αντίστοιχα. Στις 23 Φεβρουαρίου εφαρμόστηκε συμπληρωματική επιφανειακή αζωτούχος λίπανση με 4 λ.μ/στρέμμα, λιπάσματος νιτρικής αμμωνίας (Σημείωση: Πριν τη σπορά είχε προηγηθεί η εδαφολογική ανάλυση, σε ότι αφορά τη μηχανική σύσταση, την οξύτητα, την οργανική ουσία και την περιεκτικότητα σε N, P, K, Ca). Η καλλιέργεια ήταν ξηρική. Λόγω της μεγάλης ευαισθησίας της ελαιοκράμβης στα ζιζάνια υπήρξε αντιμετώπισή τους με τη μέθοδο του βοτανίσματος.

Κατά την πορεία της καλλιέργειας, ελήφθησαν οι παρακάτω παρατηρήσεις σχετικά με τα αγρονομικά χαρακτηριστικά της καλλιέργειας :1. Έναρξη, ολοκλήρωση και κανονικότητα φυτρώματος, 2. Βλάστηση, 3.Παγετοί και αντοχή σε χαμηλές θερμοκρασίες - αντοχή σε ξηρασία, 4.Ύψος – ανάπτυξη φυτών, 5. Πρωιμότητα, 6. Παραγωγικότητα σε σπόρο.

Μετά τη συγκομιδή ακολούθησε εργαστηριακός προσδιορισμός των συστατικών του σπόρου. Συγκεκριμένα, έγιναν αναλύσεις (εκφρασμένες σε νωπή βάση και σε εκατοστιαία περιεκτικότητα) σε υγρασία, ξηρά ουσία, πρωτεΐνη (ολικές αζωτούχες

ουσίες),ινώδεις ουσίες και τέφρα. Επίσης, έγινε προσδιορισμός των βασικών ιδιοτήτων των παραγόμενων λαδιών, ύστερα από εργαστηριακές αναλύσεις. Ειδικότερα, μετρήθηκε η περιεκτικότητα των σπόρων σε λάδι (%), η πυκνότητα του λαδιού (g/cm^3) στους 15 ^{o}C καθώς και το κινηματικό ιξώδες του λαδιού (mm^2/s) στους 40°C.΄

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

3.1 Κλιματικά δεδομένα περιοχής ΤΕΙ Λάρισας

Στον Πίνακα 4 που ακολουθεί, παρατίθενται οι μέσες μηνιαίες τιμές βασικών κλιματικών παραμέτρων για την περίοδο εκτέλεσης του πειράματος. Συγκεκριμένα παρατίθενται οι μέσες, μέγιστες και ελάχιστες μηνιαίες τιμές θερμοκρασίας, το μηνιαίο ύψος βροχής (mm), οι ημέρες με χιόνι καθώς και οι ημέρες με παγετό.

Πίνακας 4. Κλιματικές συνθήκες στο αγρόκτημα του ΤΕΙ Λάρισας , καλλιεργητική περίοδος Νοέμβριος 2005 – Ιούνιος 2006.(Ε.Μ.Υ, Μετεωρολογικός Σταθμός Λάρισας)

Μήνας	T_{mean} (^{0}C)	T_{max} (^{0}C)	T_{min} (^{0}C)	***Βροχή***	***Ημέρες με Χιόνι***	Ημέρες με Παγετό
Νοε	8,98	14,07	3,89	60,08	0	21,22 **(2)**
Δεκ	6,85	11,62	2,08	66,8	0	19,20,21,22,23,24,25,26 **(8)**
Ιαν	3,35	7,00	-0,30	33,4	23,24 (2)	15,16,17,18,20,21,22,23,24,25,26,27,28,29,30,31 **(16)**
Φεβ	5,68	11,26	0,11	38,8	5,6 (2)	1,2,3,4,7,8,9,10,12,13,14,15,16 **(13)**
Μάρ	9,90	15,61	4,18	33,7	0	9,10,16 **(3)**
Απρ	14,27	20,04	8,50	35,4	0	0
Μάιος	18,71	26,50	10,92	1,9	0	0
Ιούν	23,59	30,83	16,35	15,3	0	0

Η μέση θερμοκρασία για την ανάπτυξη της ελαιοκράμβης και ιδιαίτερα από την άνθηση μέχρι την ωρίμανση δηλ. στις φάσεις άνθησης, γεμίσματος του κερατίου και ωρίμανσης πρέπει να κυμαίνεται από 20-25^0 C κατά τους μήνες Απρίλιο – Μάιο – Ιούνιο [17, 20]. Χαμηλές θερμοκρασίες όπου η ανάπτυξη του φυτού ήταν σχετικά αργή παρατηρήθηκαν κατά τις περιόδους: τρίτο δεκαήμερο του Δεκεμβρίου, δεύτερο δεκαπενθήμερο του Ιανουαρίου καθώς και πρώτο δεκαήμερο του Φεβρουαρίου. Ωστόσο οι θερμοκρασίες αυτές είναι πάνω από τη βασική ημερήσια θερμοκρασία για την ανάπτυξη της ελαιοκράμβης(περίπου 5^{0}C) [10,13]. Οι χιονοπτώσεις των τεσσάρων (4) ημερών δεν επηρέασαν τις υπό εξέταση ποικιλίες και υβρίδια. Το σύνολο των βροχοπτώσεων (285,38 mm) ήταν αρκετό για την κάλυψη των αρδευτικών αναγκών. Σύμφωνα με βιβλιογραφικά δεδομένα [14], αν και οι ανάγκες σε νερό είναι πολύ μεγαλύτερες, επιτεύχθηκαν καλές αποδόσεις.

3.2 Αγρονομικά χαρακτηριστικά

Η έναρξη του φυτρώματος έγινε στις 5 Δεκεμβρίου και η ολοκλήρωση του μετά από 9 μέρες στις 14 Δεκεμβρίου. Οι παρατηρήσεις σχετικά με την κανονικότητα φυτρώματος σε κάθε πειραματικό τεμάχιο παρουσιάζονται στον πίνακα 5.

Η κανονικότητα του φυτρώματος εκφράστηκε σύμφωνα με την κλίμακα. 0-9 του Ινστιτούτου Σιτηρών Θεσσαλονίκης. Στο άριστο φύτρωμα (βαθμολογία 0-1) όλες οι γραμμές που πειραματικού τεμαχίου έχουν την ίδια πυκνότητα φυτρώματος, χωρίς να παρουσιάζονται κενά στις γραμμές, ενώ στο κανονικό φύτρωμα (βαθμολογία 2-3) όλες οι γραμμές του τεμαχίου έχουν την ίδια πυκνότητα αλλά παρουσιάζονται μικρά κενά σε μερικές γραμμές [15].

Πίνακας 5. Κανονικότητα φυτρώματος σε κάθε τεμάχιο.

Ποικιλίες	**Τεμάχιο**	**Κανονικότητα φυτρώματος**
VECTRA	1	Άριστο
VECTRA	5	Άριστο
VECTRA	10	Άριστο
VECTRA	14	Άριστο
LICOLY	3	Κανονικό
LICOLY	8	Κανονικό
LICOLY	12	Κανονικό
LICOLY	15	Κανονικό
Υβρίδια	**Τεμάχιο**	**Κανονικότητα φυτρώματος**
PR46W31	2	Κανονικό
PR46W31	6	Κανονικό
PR46W31	9	Κανονικό
PR46W31	13	Κανονικό
PR45D01	4	Κανονικό
PR45D01	7	Κανονικό
PR45D01	11	Κανονικό
PR45D01	16	Κανονικό

Η βλάστηση των δύο (2) ποικιλιών ήταν πλούσια και πυκνή, ενώ η βλάστηση των υβριδίων ήταν, συγκριτικά με αυτή των ποικιλιών, πιο περιορισμένη. Στις δύο (2) ποικιλίες και στο υβρίδιο PR46W31 η επανέναρξη της βλάστησης ήταν πρώιμη ενώ στο υβρίδιο PR45D01 πιο όψιμη.

Τόσο οι ποικιλίες, όσο και τα υβρίδια σε παρατηρήσεις που ελήφθησαν λίγες ημέρες μετά τους παγετούς είχαν ελάχιστη ζημιά (ξήρανση των άκρων σε μερικά φύλλα). Οι παγετοί τελικά δεν επηρέασαν τις τελικές αποδόσεις. Σε ότι αφορά την αντοχή των ποικιλιών και των υβριδίων στην ξηρασία, δεν παρατηρήθηκε καμία ζημία και τα φυτά είχαν αυξημένη ευρωστία. Σε αυτό συνέβαλλαν οι βροχοπτώσεις της άνοιξης.

Οι δύο(2) ποικιλίες και το υβρίδιο PR46W31 είχαν ομοιόμορφη ανάπτυξη ως προς το ύψος τους με αυτό να είναι, κατά το στάδιο έκπτυξης – ανόρθωσης (πρώτο ύψος) το μήνα Μάρτιο στα 18 cm, και κατά την ωρίμανση (τελικό ύψος) περίπου 160 cm. Το υβρίδιο PR45D01 κατά το στάδιο έκπτυξης – ανόρθωσης είχε ύψος 16 cm και τελικό ύψος 135cm. Το τελικό ύψος είναι σύμφωνο με αυτό που αναφέρεται στη βιβλιογραφία και είναι περίπου 150cm[4].

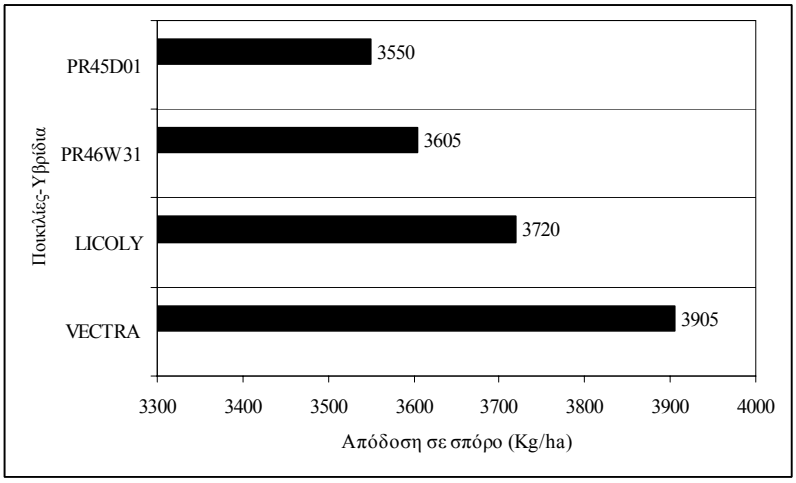
Για το χαρακτηρισμό της πρωιμότητας, παρουσιάζονται στον Πίνακα 6 οι ημερομηνίες εμφάνισης των ανθικών καταβολών και των ανθέων, το ποσοστό άνθησης 50% και το ποσοστό ωρίμανσης 50%(φυσιολογική ωρίμανση).

Πίνακας 6. Χαρακτηρισμός πρωιμότητας

Ποικιλίες – Υβρίδια	Εμφάνιση ανθικών καταβολών	Εμφάνιση ανθέων	Άνθηση 50%	Ωρίμανση 50%	Πρωιμότητα
VECTRA	8/4	19/4	2/5	9/6	***Μεσοπρώιμη***
LICOLY	1/4	11/4	26/4	2/6	***Πρώιμη***
PR46W31	7/4	17/4	30/4	9/6	***Μεσοπρώιμη***
PR45D01	11/4	18/4	2/5	13/6	***Μέση***

3.3 Παραγωγικότητα σε σπόρο

Η συγκομιδή έγινε χειρωνακτικά, με θερισμό των ταξικαρπιών και στη συνέχεια αποχωρισμό των κερατίων, σύνθλιψη - λίχνισμα αυτών και παραλαβή του σπόρου.



Σχήμα 1. Αποδόσεις σε σπόρο (Kg/ha) (Μ.Ο των πειραματικών τεμαχίων)

Στο Σχήμα 1 παρουσιάζονται οι αποδόσεις σε σπόρο (μέσοι όροι των πειραματικών τεμαχίων) των εξεταζόμενων ποικιλιών και υβριδίων. Από αντίστοιχα πειράματα που πραγματοποιήθηκαν τα τελευταία χρόνια στις μεσογειακές περιοχές (Ευρωπαικό Δίκτυο για την ελαιοκράμβη: FAIR CT98-1946) οι αποδόσεις σε σπόρο ανάλογα με την ποικιλία, τις καλλιεργητικές τεχνικές και τις επικρατούσες εδαφοκλιματικές συνθήκες κυμάνθηκαν από 1200 έως 2500 Kg/ha. [6,13].

Οι ποικιλίες παρουσίασαν μεγαλύτερες αποδόσεις σε σπόρο σε σχέση με τα υβρίδια (*Σχήμα 1*). Ωστόσο, οι διαφορές στην απόδοση σε σπόρο δεν ήταν στατιστικά σημαντικές σε επίπεδο σημαντικότητας 0,05.

3.4 Ανάλυση σπόρου - Προσδιορισμός διαφόρων συστατικών(έλεγχος ζωοτροφών)

Η ανάλυση του σπόρου των δυο (2) ποικιλιών και των δυο (2) υβριδίων για τον προσδιορισμό διαφόρων συστατικών παρουσιάζεται στον πίνακα 7 που ακολουθεί. Αξίζει να σημειωθεί ότι η μέση υγρασία του σπόρου όλων των εξεταζόμενων ποικιλιών ήταν κάτω από 7%, κυμάνθηκαν δηλαδή στο πλαίσιο των προτεινόμενων ορίων(<12%)[3,13].

Η περιεκτικότητα % σε πρωτεΐνη συμφωνεί με εκείνη που βιβλιογραφικά αναφέρεται σε 22 – 23%[2,16] αν και έχουν αναφερθεί και υψηλότερες τιμές της τάξης του 30-35%[17]. Η ξηρά ουσία % είναι κοντά στο εύρος 90 – 96 % των βιβλιογραφικών αναφορών [16,17].

Πίνακας 7. Ανάλυση του παραγόμενου σπόρου(τα αποτελέσματα είναι εκφρασμένα σε νωπή βάση και αφορούν, έλεγχο ζωοτροφών).

Ποικιλία - Υβρίδιο	**Υγρασία%**	**Ξηρά ουσία %**	**Πρωτεΐνη %**	**Ινώδεις Ουσίες (Κυτταρίνη) %**	**Τέφρα%**
Vectra	5,66	94,34	24,43	19,84	4,18
Licoly	6,28	93,72	24,47	21,60	3,54
PR46W31	4,45	95,55	20,65	19,23	3,79
PR45D01	4,13	95,87	24,43	21,40	5,92

3.5 Προσδιορισμός βασικών ιδιοτήτων των παραγόμενων λαδιών

Ο προσδιορισμός της περιεκτικότητας του σπόρου σε λάδι, της πυκνότητας και του κινηματικού ιξώδους των ελαίων των εξεταζόμενων ποικιλιών και υβριδίων παρουσιάζεται στον πίνακα 8.

Πίνακας 8. Προσδιορισμός περιεκτικότητας του σπόρου σε λάδι, της πυκνότητας και του κινηματικού ιξώδους των ελαίων .

Ποικιλία - Υβρίδιο	**Λάδι %**	**Πυκνότητα (gr/cm$^{3)}$** ***15°C***	**Κινηματικό Ιξώδες (mm^2/s)** ***40°C***
VECTRA	38,6	0,9160	31,8
LICOLY	33,6	0,9168	33,2
PR46W31	33,2	0,9198	38,2
PR45D01	39,1	0,9163	39,0

Η περιεκτικότητα % σε λάδι στις ποικιλίες και τα υβρίδια που εξετάστηκαν βρίσκονται στο εύρος τιμών από αντίστοιχα πειράματα που πραγματοποιήθηκαν τα τελευταία χρόνια στις μεσογειακές περιοχές (Ευρωπαικό Δίκτυο για την ελαιοκράμβη: FAIR CT98-1946)[6].

Το ιξώδες των εξεταζόμενων ελαίων στους 40°C κυμαίνεται σε επίπεδα 31,8 - 39,0 mm^2/sec, τιμές πολύ κοντά με τις βιβλιογραφικές καθώς και με τις προτεινόμενες για δημιουργία προτύπου ελαιοκράμβης ως καύσιμο, που δίνει τιμή 38,0 mm^2/sec ή cst (centistokes) σύμφωνα με τη μέθοδο ελέγχου DIN EN ISO 3104[18].

Η πυκνότητα των εξεταζόμενων ελαίων στους 15°C κυμαίνεται σε επίπεδα 0,9160 – 0,9198gr/cm^3, τιμές πολύ κοντά στην πρόταση για δημιουργία προτύπου ελαίου ελαιοκράμβης ως καύσιμο που δίνει 0,9 – 0,93 gr/cm^3 σύμφωνα με τη μέθοδο ελέγχου DIN EN ISO 3675[18].

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από την παρούσα εργασία μπορούν να εξαχθούν τα παρακάτω συμπεράσματα:

- Η καλλιέργεια της ελαιοκράμβης (*Brassica sp*.) για παραγωγή βιοντήζελ παρουσιάζει καλή προσαρμοστικότητα και ικανοποιητικές αποδόσεις στις εδαφοκλιματικές συνθήκες της περιοχής της Λάρισας.
- Τα αποτελέσματα έδειξαν, τόσο για τις ποικιλίες, όσο και για τα υβρίδια, αποδόσεις σε σπόρο πάνω από 3500 Kg/ha, που είναι υψηλότερες από αυτές που αναφέρονται στη βιβλιογραφία. Οι ποικιλίες παρουσίασαν μεγαλύτερες αποδόσεις σε σπόρο σε σχέση με τα υβρίδια με διαφορές όμως που δεν ήταν στατιστικά σημαντικές σε επίπεδο σημαντικότητας 0,05.
- Η ανάλυση του σπόρου για προσδιορισμό των διαφόρων συστατικών σε επίπεδο ελέγχου ζωοτροφών έδειξε θετικά αποτελέσματα με ικανοποιητική

περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη. Έτσι, υπάρχει δυνατότητα διάθεσης στην αγορά και του πλακούντα (πίτας) του ελαιούχου σπόρου, κάτι που μπορεί να μειώσει το τελικό κόστος παραγωγής.

- Η περιεκτικότητα των σπόρων σε λάδι, η πυκνότητα και το κινηματικό ιξώδες κυμάνθηκαν σε επίπεδα περίπου ίδια με αυτά που αναφέρονται στη βιβλιογραφία και με τιμές πολύ κοντά στις προτεινόμενες για δημιουργία προτύπου ελαιοκράμβης ως καύσιμο.
- Με την προώθηση της χρήσης των βιοκαυσίμων δημιουργούνται νέες ευκαιρίες για τη βιώσιμη αγροτική ανάπτυξη στο πλαίσιο της Κοινής Αγροτικής Πολιτικής (ΚΑΠ) και στο πλαίσιο αυτό η καλλιέργεια της ελαιοκράμβης μπορεί να αποφέρει σημαντικά ενεργειακά, περιβαλλοντικά και κοινωνικοοικονομικά οφέλη.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Demirbas A. Importance of biodiesel as transportation fuel. Energy Policy 2007.
2. Oplinger E.S. , Hardman L.L , Gritton E.T , Doll J.D , Kelling K.A. Alternative field crops manual (on line) http://www.hort.purdue.edu/newcrop/afcm/canola_ .html
3. Thomas, P. 1984. Canola growers manual. Canola Council of Canada, Winnipeg, Man., Canada.
4. Canadian Council Organization www.canola.org/manual/canolafr.htm
5. Duke J.A, 1983.Handbook of energy crops. Unpublished(on line) http://www.hort.purdue.edu/newcrop/duke_energy/Brassica_napus .html
6. Κ.Α.Π.Ε. 2003, Ενεργειακές Καλλιέργειες για την Παραγωγή Υγρών και Στερεών Βιοκαυσίμων στην Ελλάδα.pp 48.
7. Hemmerlein M, Korte V, Richter HS, Performance, exhaust emission and durability of modern diesel engines running on rapeseed oil. SAE paper,910848, 1991.
8. Demirbas A., 2002.Biodiesel from vegetable oils via transesterification in supercritical methanol. *Energy Convers Manage*,43:2349-56.
9. Demirbas A., 2006 Biodiesel production via non catalytic SCF method and biodiesel fuel characteristics. *Energy conversion & management* 47: 2271-2282.
10. Karaosmonoglu F.,1999 Vegetable oil fuels: a review. *Energy Sources,* 21:221-31
11. Balat M.,2005. Current alternative engine fuels*. Energy Sources* 27:569-77.
12. Bozbas K., 2005 *Renewable and Sustainable Energy Reviews.*
13. Namatov, l., Kavadakis, G., Nikolaou, A., Panoutsou, C., Danalatos, N., 2000. Growth and productivity of eighteen Brassica carinata and four *Brassica* napus varieties for oil production in central Greece. *World Conference on Biomass for Energy and Industry, Sevilla, June 2000.*
14. Weiss, E.A., 1983. *Oilseed Crop* pp. 160-215 (eds. G. Wrigley, AICTA).
15. ΕΘΙΑΓΕ, Ινστιτούτο Σιτηρών Θεσσαλονίκης.
16. Onay, O.,Kockar, O.M.,2006. Pyrolysis of rapeseed in a free fall reactor for production of bio-oil.. *Fuel* 85(2006):1921-1928.
17. Schone F., Kirchheim U., Schumann W., Ludke H., 1996. Apparent digestibility of high-fat rapeseed press cake in growing pigs and effects on feed intake, growth and weight of thyroid and liver. *Animal Feed Science Technology* 62:97-110.
18. Thuneke, K., Remmele, E., Widmann, B., WíIharm, T., 2000. Standardisation of rapeseed oil as fuel. *1st World Conference on Biomass for Energy and Industry, Sevilla, June 2000*.

(155)

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΔΥΟ ΠΟΙΚΙΛΙΩΝ ΕΛΑΙΟΚΡΑΜΒΗΣ ΣΤΙΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΕΣ ΤΗΣ ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ

Μ. Σακελλαρίου – Μακραντωνάκη [1α], Ι. Παναγιώτου [1β] και Π. Βύρλας[1γ]

[1] Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Σχολή Γεωπονικών Επιστ., Τμ. Γεωπονίας Φ. Π. & Α. Π., Οδός Φυτόκου, 38446, Ν. Ιωνία Μαγνησίας Εργαστήριο Γεωργικής Υδραυλικής Τηλ: 2421093059-60, [α]msak@uth.gr; [β]ioanpng@uth.gr, [γ] hydrolab@uth.gr.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να διερευνηθεί η επίδραση της επιφανειακής στάγδην άρδευσης στην ανάπτυξη και απόδοση δύο ποικιλιών ελαιοκράμβης (*brassica napus),* ως ενεργειακού φυτού στις κλιματικές συνθήκες τις Κεντρικής Ελλάδος. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι αποδόσεις των δύο ποικιλιών ελαιοκράμβης που παρατηρήθηκαν στην Κεντρική Ελλάδα σε συνδυασμό με την εξοικονόμηση νερού (επιφανειακή στάγδην άρδευση) καθιστούν φανερή την δυναμικότητα της καλλιέργειας ως εναλλακτική καλλιέργεια για την παραγωγή βιοκαυσίμου.

CULTIVATION ANALYSIS OF TWO DISTINCT OILSEED RAPE IN THE WEATHER CONDITIONS OF CENTRAL GREECE

M.Sakellariou-Makrantonaki [1a] I.Panagiotou[1b]and P.Viglas[1c]

[1] University of Thessaly, Sch. of Agricultural Sc., Dept. of Agriculture Crop Prod. & Rural Env., Fytokou Str, 38446, N. Ionia Magnesias, Ladoratory of hydraulic engineering Tel:2421093059-60, ,[a] msak@uth.gr; [b]ioanpng@uth.gr, [c] hydrolab@uth.gr.

ABSTRACT

The purpose of this project was to investigate the effect of surface drip irrigation on the growth and production of two kinds of Oilseed Rape (*brassica napus)*, as a plant that can be used as an energy source in the weather conditions of central Greece. After the cultivation of both oilseed Rape species, the results, combined with the water supply paring (surface drip irrigation), clearly showed that these kinds of oilseed Rape, can be utilized as an alternative source for biofuel production in central Greece.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η καλλιέργεια της ελαιοκράμβης σήμερα, σηματοδοτεί μια εναλλακτική πρόταση για την ελληνική γεωργία. Αφορά ένα είδος και ταυτόχρονα ένα βιομηχανικό προϊόν όπου: α) η παγκόσμια κοινότητα έχει στρέψει το εμπορικό και ερευνητικό ενδιαφέρον και β) ανήκει σε μια αναπτυσσόμενη ποιοτική αγορά με τιμή αναφοράς καλά προσδιορισμένη.

Η ελαιοκράμβη (oil seed rape) ανήκει στην οικογένεια των Σταυρανθών (Brassicaceae, πρώην Cruciferae). Το είδος που καλλιεργείται είναι το Brassica napus L.var. Oleifera και περιλαμβάνει ποικιλίες χειμερινές και εαρινές [5,7]. Η ελαιοκράμβη από το 1998 είναι η δεύτερη σε έκταση καλλιέργεια για την παραγωγή ελαίου στον κόσμο[6].

Ο σπόρος της ελαιοκράμβης περιέχει περίπου 40% έλαιο και αποδίδει, μετά την εξαγωγή του ελαίου κραμβάλευρο (πλακούντα πίττα) με περιεκτικότητα 30-40% σε πρωτεΐνες. Το κοινό κραμβέλαιο δεν είναι εδώδιμο αφού περιέχει υψηλό ποσοστό ερουκικού οξέος. (erucic acid, 22:1). Στο σπόρο υπάρχουν επίσης φυσικές τοξίνες που καθιστούν ακατάλληλο για ζωοτροφή ότι απομένει μετά την εξαγωγή του ελαίου [9].

Το βιοντήζελ αναφέρεται σε έλαια τα οποία περιέχουν πάνω από 45% ερουκικό οξύ και τα οποία χρησιμοποιούνται ως λιπαντικά και υδραυλικά υγρά. Το κραμβέλαιο λοιπόν είναι μια καλή πρώτη ύλη για την παραγωγή του βιοντήζελ. Το βιοντήζελ δεν περιέχει προϊόντα πετρελαίου, όμως μπορεί να αναμιχθεί με κοινό ντήζελ. Οι περισσότεροι κινητήρες μπορούν να δεχτούν μείγμα βιοντήζελ/ντήζελ 20/80 χωρίς μετατροπές. Είναι φιλικό προς το περιβάλλον , μη τοξικό, βιοαποικοδομήσιμο και αποτελεί ανανεώσιμη πηγή ενέργειας. Η Ευρωπαϊκή Ένωση με την Οδηγία 2003/30/ΕΚ έχει θέσει στόχο τη χρήση 5,75% βιοντήζελ μέχρι το τέλος του 2010 [4].

Η καλλιέργεια της ελαιοκράμβης στη χώρα μας πλεονεκτεί διότι οι κλιματικές μας συνθήκες ταυτίζονται με την άρτια ανάπτυξή του. Στην προσπάθεια για την επίτευξη μικρότερου κόστους και μεγαλύτερης αποτελεσματικότητας κατά την εφαρμογή του νερού στις αρδεύσεις, η στάγδην άρδευση και μάλιστα επιφανειακού δικτύου κρίνεται απαραίτητη για την εξοικονόμηση σημαντικής ποσότητας αρδευτικού νερού και για την ελαχιστοποίηση ή εφόσον είναι δυνατό την πλήρη αποφυγή των κινδύνων που σχετίζονται με την ανθρώπινη υγεία και των επιπτώσεων στο περιβάλλον.

Τα κυριότερα πλεονεκτήματα του συστήματος επιφανειακής στάγδην άρδευσης είναι: 1) μπορεί να εφαρμοστεί σε όλους σχεδόν τους τύπους εδαφών, 2) πλεονεκτεί σε περιοχές όπου το νερό που διατίθεται για την άρδευση είναι λιγοστό ή πολύ ακριβό, 3) η εφαρμογή θρεπτικών ουσιών γίνεται με μεγαλύτερη ακρίβεια, 4)συμβάλλει στην μείωση της αλατότητας στην περιοχή του ενεργού ριζοστρώματος, 5) προσφέρεται για αυτοματοποίηση της άρδευσης 6) θεωρείται ιδανική για άρδευση με χρήση υγρών αποβλήτων [1] 7) η μη απαίτηση μετακίνησης του δικτύου πριν τη σπορά, 8) η άρδευση μεγαλύτερων εκτάσεων και 9) η επιφάνεια του αγρού παραμένει ξηρή οπότε τα γεωργικά μηχανήματα μπορούν να κινούνται με ευκολία. Μειονεκτήματα του συστήματος επιφανειακής στάγδην άρδευσης είναι: 1) το υψηλό κόστος εγκατάστασης, 2) η δυσκολία ελέγχου του υπόγειου δικτύου και 3) οι εμφράξεις των σταλακτήρων [3,8].

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να διερευνηθεί η επίδραση της επιφανειακής στάγδην άρδευσης στην ανάπτυξη και απόδοση της ελαιοκράμβης (*brassica napus),* ως ενεργειακού φυτού.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Η ανάπτυξη και η απόδοση του ενεργειακού φυτού ελαιοκράμβης κατά την άρδευση με επιφανειακή στάγδην άρδευση, μελετήθηκε σε πείραμα αγρού στο αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας (Βελεστίνο) την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2006. Η εγκατάσταση του επιφανειακού δικτύου άρδευσης έγινε την ίδια χρονιά.

Το πείραμα διεξήχθη με δυο ποικιλίες φυτών ελαιοκράμβης (Ability και Licolly) και 4 επαναλήψεις. Το έδαφος στο οποίο έλαβε χώρα το πείραμα είναι ασβεστούχο, ιλυο-αργιλοπηλώδους υφής, καλά αποστραγγιζόμενο και ανήκει στην υπο-ομάδα Typic Xerochrepts.

Το σύνολο του δικτύου άρδευσης ολοκληρώνεται με τη χρήση ηλεκτροβάνων με σκοπό την αυτόματη έναρξη και λήξη της άρδευσης και υδρομετρητές, αντίστοιχα με τις ηλεκτροβάνες, για τον έλεγχο των πιθανών αποκλίσεων από τις επιθυμητές τιμές των δόσεων άρδευσης. Όλες οι ηλεκτροβάνες συνδέθηκαν με ειδικό προγραμματιστή με σκοπό την αυτοματοποίηση της άρδευσης.

Η σπορά έγινε στις 6 Απριλίου του 2006 αφού είχε προηγηθεί στον αγρό κατεργασία με δισκόβαρνα και είχε εφαρμοστεί λίπανση με 11 λ.μ. N 15 λ.μ. P_2O_5 και 15 λ.μ. K_2O, καθώς και ενσωμάτωση ζιζανιοκτόνου trifluran σε δόση συνιστώμενη για βαρέα εδάφη. Η τοποθέτηση των σπόρων έγινε σε βάθος 2 cm και σε αποστάσεις 50 cm μεταξύ των γραμμών και 5cm επί της γραμμής. Χρησιμοποιήθηκε πεντάσειρη σπαρτική μηχανή κατάλληλα τροποποιημένη για σπορά μικρών σε διάμετρο σπόρων. Οι αρδεύσεις έγιναν κατά την περίοδο από 30 Μαΐου έως 3 Αυγούστου και οι ποσότητες νερού εφαρμόστηκαν για να καλύψουν το 100% της υπολογιζόμενης εξατμισοδιαπνοής, βάση εξατμισίμετρου τύπου Α.

Οι μετρήσεις που έγιναν αφορούν το ύψος των φυτών, το δείκτη φυλλικής επιφάνειας καθώς και την απόδοση της καλλιέργειας. Επίσης λαμβάνονται μετρήσεις μετεωρολογικών δεδομένων (βροχόπτωση και θερμοκρασία αέρα) από μετεωρολογικό σταθμό εντός του αγροκτήματος.

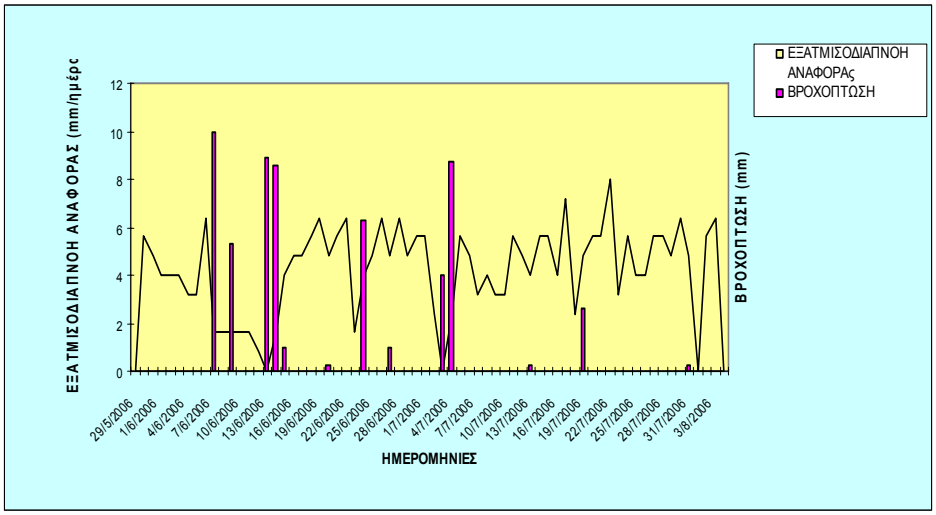
3.ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

3.1 Εξατμισοδιαπνοή – βροχόπτωση

Στο *Σχήμα 1* απεικονίζεται η μεταβολή της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς σε ημερήσια βάση καθώς και οι βροχοπτώσεις κατά την καλλιεργητική περίοδο του 2006. Η διακύμανση της εξατμισοδιαπνοής παρουσιάζει ένα μέγιστο της τιμής των 7,2mm στις 17/7/2006 και 8mm στις 22/7/2006, χρονική περίοδο κατά την οποία σημειώθηκαν πολύ υψηλές θερμοκρασίες καθώς επίσης και καθόλου ή μικρή βροχόπτωση. Επίσης στις 13/06/2006 και 03/07/2006 λόγο των έντονων βροχοπτώσεων η τιμή της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς πλησίασε το μηδέν.

Ένα εξατμισίμετρο τύπου Α χρησιμοποιήθηκε για την μέτρηση της εξάτμισης, απαραίτητης για τον υπολογισμό των αναγκών άρδευσης της καλλιέργειας. Οι ενδείξεις που αντιπροσώπευαν την εξάτμιση σε mm/ημέρα, πολλαπλασιαζόμενες με τον συντελεστή διόρθωσης του εξατμισμένου ($K_{εξ}$=0,80) και την αντίστοιχη για κάθε περίοδο τιμή του φυτικό συντελεστή K_C έδιναν την τιμή της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας. Από την αρχή της αρδευτικής περιόδου (30/05/06) έως το τέλος αυτής (03/08/06) το σύνολο της εξατμισοδιαπνοής καλλιέργειας ήταν 350,660mm.

Από τις 30/05/2006 ως τις 03/08/2006 έπεσαν 57,24 mm βροχής. Η μεγαλύτερη τιμή της βροχόπτωσης σημειώθηκε στις 07/06/2006 με τιμή 10 mm.



Σχήμα 1**.** Διακύμανση της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής αναφοράς και της βροχόπτωσης κατά τη διάρκεια της αρδευτικής περιόδου 2006.

3.2 Ανάπτυξη της καλλιέργειας

3.2.1 Ύψος φυτών

Στο *Σχήμα 2* παρουσιάζεται το μέσο ύψος των φυτών κατά την καλλιεργητική περίοδο. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν από 01/05/2006 μέχρι 24/07/2006.

Όπως φαίνεται και στο *Σχήμα 2* το μέσο ύψος των φυτών στην μεταχείριση με την ποικιλία της ελαιοκράμβης Licolly έφτασε τα 138,1 cm ενώ το μέσο ύψος φυτών στην μεταχείριση με την ποικιλία της ελαιοκράμβης Ability έφτασε στα 143,1 cm. Στατιστικώς σημαντικές διαφορές δεν παρατηρήθηκαν ανάμεσα στις δύο ποικιλίες. Αξίζει να σημειωθεί ότι από τις 15/05/2006 μέχρι 12/06/2006 παρατηρήθηκε μια έντονη αύξηση του ύψους των φυτών και στις δύο ποικιλίες που μπορεί να οφείλεται τόσο στις έντονες βροχοπτώσεις εκείνης της περιόδου όσο και στην λίπανση με Ν που πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια της ανάπτυξης της καλλιέργειας. Στις 24/07/2006 που είναι η τελευταία μέτρηση του ύψους φυτών, παρατηρείται και στις δύο ποικιλίες πολύ μικρή αύξηση του ύψους σε σχέση με την αύξηση που είχαμε στις άλλες μετρήσεις, γεγονός που μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι από εδώ και πέρα το ύψος μάλλον αρχίζει και σταθεροποιείται.

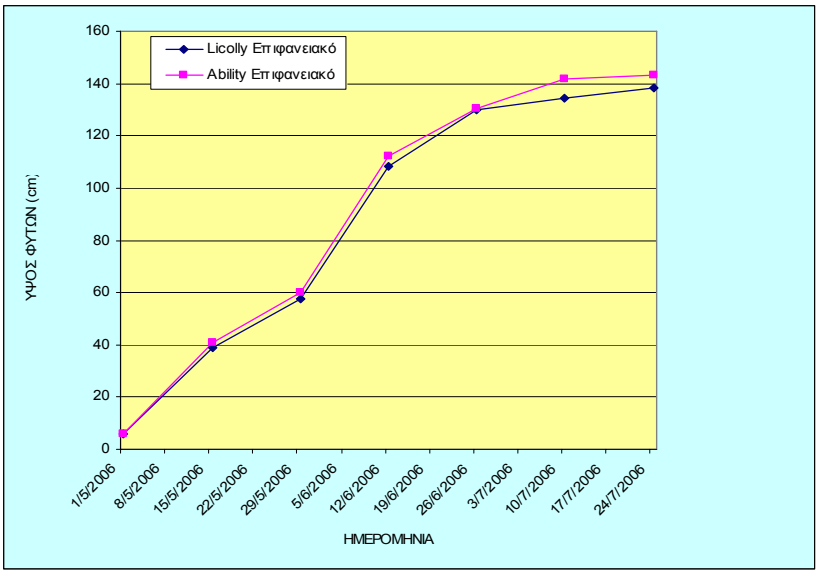
3.2.2 Δείκτης φυλλικής επιφάνειας

Στο *Σχήμα 3* παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων του δείκτη φυλλικής επιφάνειας (LAI) των δύο ποικιλιών της καλλιέργειας της ελαιοκράμβης. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν από 20/05/2006 μέχρι 12/08/2006.

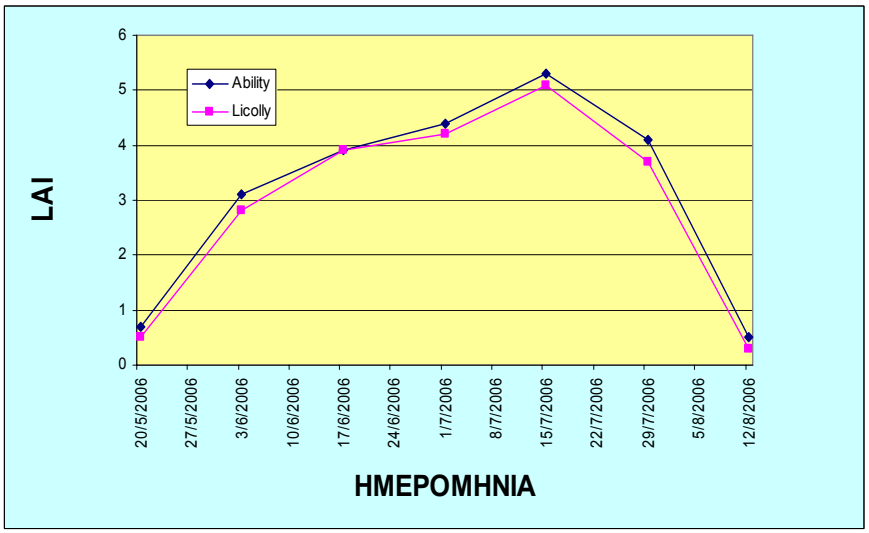
Με την έναρξη των αρδεύσεων παρατηρούμε ότι δεν εμφανίζεται στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των δύο ποικιλιών. Άλλωστε οι δύο ποικιλίες με την αύξηση των απαιτήσεων τους σε νερό έχουν σαν αποτέλεσμα να διαπνέουν περισσότερο και ταυτόχρονα να αναπτύσσουν μεγαλύτερο LAI. Όπως φαίνεται και στο *Σχήμα 3* προσδίδουν την μέγιστη φυλλική επιφάνεια την ίδια χρονική περίοδο στην τιμή 5,3 για την ποικιλία Ability και στην τιμή 5,1 για την ποικιλία Licolly.

Από τα τέλη Ιουλίου μέχρι και την λήξη της καλλιεργητικής περιόδου, στα τέλη Αυγούστου, παρατηρείται μείωση των τιμών του LAI και στις δύο ποικιλίες. Η υποβάθμιση αυτή των τιμών γίνεται εντονότερη τον τελευταίο μήνα της καλλιεργητικής

περιόδου και αυτό οφείλεται βέβαια στον γηρασμό της καλλιέργειας και στην σταδιακή μάρανση των φύλλων. Βέβαια η πτώση αυτή του δείκτη δεν έχει καμία απολύτως επίδραση στην απόδοση της καλλιέργειας.



Σχήμα.2. Μεταβολή του ύψους στις ποικιλίες ελαιοκράμβης Licolly και Ability κατά την διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου 2006.



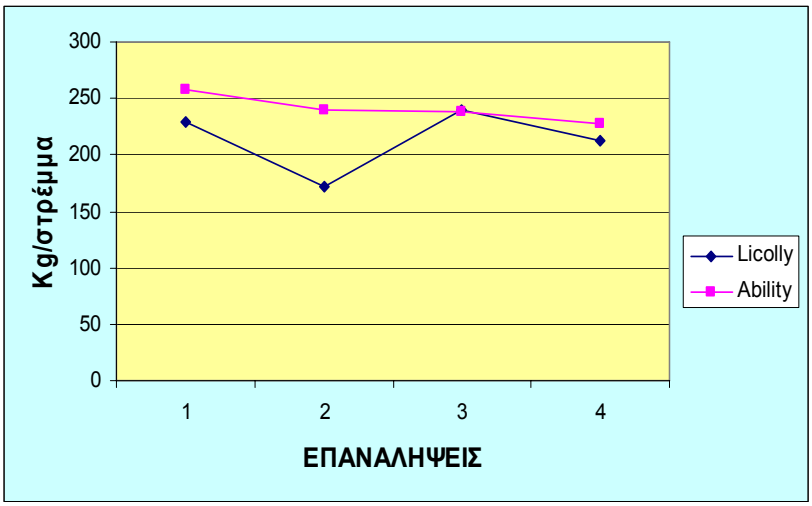
Σχήμα 3**.** Μεταβολή του δείκτη φυλλικής επιφάνειας στις ποικιλίες ελαιοκράμβης Ability και Licolly κατά την διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου 2006.

3.2.3 Απόδοση της καλλιέργειας

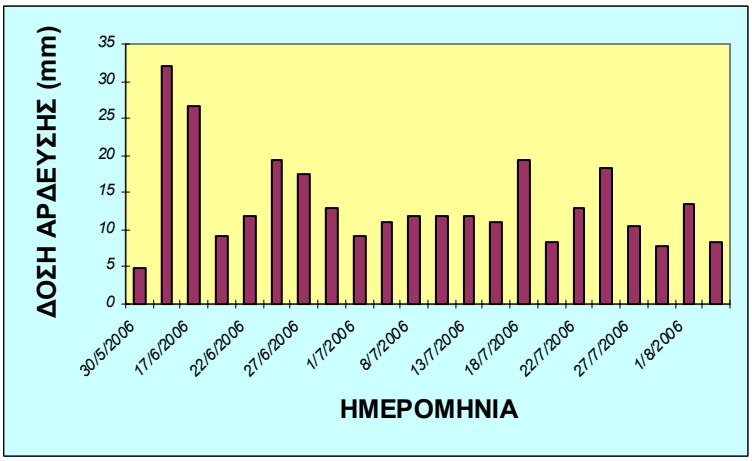
Στο *Σχήμα 4* παρουσιάζεται η διακύμανση της απόδοσης των δύο ποικιλιών ελαιοκράμβης σε Kg/στρέμμα. Γενικά δεν παρατηρήθηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές όσον αφορά την απόδοση των δύο ποικιλιών.

Όπως φαίνεται από το *Σχήμα 4* η ποικιλία Ability είχε μέγιστη απόδοση στα 258,3 Kg/στρέμμα με μέσο όρο 240,92 Kg/στρέμμα από τις τέσσερις επαναλήψεις ενώ η ποικιλία Licolly είχε την μέγιστη απόδοση στα 229 Kg/στρέμμα με μέσο όρο 213,25 Kg/στρέμμα από τέσσερις επαναλήψεις. Η μειωμένη απόδοση αλλά και ανάπτυξη της ποικιλίας Licolly σε όλη την διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου μπορεί να οφείλεται στην ευαισθησία και την ευπάθεια της σε εντομολογικές προσβολές κατά την διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου.

Λαμβάνοντας υπόψιν ότι για την παραγωγή 90 l βιοκαυσίμου αντιστοιχούν 300 Kg/στρέμμα ελαιοκράμβης, η μέγιστη απόδοση της ποικιλίας Ability που παρατηρήθηκε στα 258,33 Kg/στρέμμα αντιστοιχεί σε 77,50 l/στρέμμα βιοκαυσίμου με μέσο όρο παραγωγής βιοκαυσίμου σε όλες τις επαναλήψεις στα 72,28 l/στρέμμα ενώ για την ποικιλία Licolly με μέγιστη απόδοση στα 229 Kg/στρέμμα αντιστοιχεί σε 68,7 l/στρέμμα βιοκαυσίμου με μέσο όρο παραγωγής βιοκαυσίμου σε όλες τις επαναλήψεις στα 63,98 l/στρέμμα.



Σχήμα 4**.** Απόδοση των ποικιλιών Ability και Licolly κατά την καλλιεργητική περίοδο 2006.



Σχήμα 5**.** Δόση άρδευσης των δύο ποικιλιών ελαιοκράμβης κατά την διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου 2006.

3.3 Δόση άρδευσης-εξοικονόμηση νερού

Κατά την άρδευση των δύο ποικιλιών ελαιοκράμβης χορηγήθηκαν συνολικά 345,61 mm νερού. Από τα 345,61 mm νερού τα 300,61 χορηγήθηκαν μέσω του συστήματος επιφανειακής στάγδην άρδευσης κατά τη διάρκεια της αρδευτικής περιόδου από 30/05/2006 ως 3/08/2006 ενώ τα υπόλοιπα 45 mm νερού χορηγήθηκαν με κανόνι βροχής για το φύτρωμα της καλλιέργειας. Η μεγαλύτερη δόση νερού εφαρμόστηκε στις 06/06/2006 ίση με 31,95mm (*Σχήμα 5)*.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τόσο κατά τη διάρκεια όσο και στο τέλος του πειράματος δεν παρατηρήθηκε στατιστικώς σημαντική διαφορά ανάμεσα στις δυο ποικιλίες ελαιοκράμβης όσον αφορά το ύψος των φυτών και την απόδοσή τους σε σπόρο, γεγονός πολύ ενθαρρυντικό αν λάβουμε υπόψιν την εξοικονόμηση νερού που έγινε. Οι αποδόσεις των δύο ποικιλιών ελαιοκράμβης που παρατηρήθηκαν στην Κεντρική Ελλάδα σε συνδυασμό με την εξοικονόμηση νερού (επιφανειακή στάγδην άρδευση) καθιστούν φανερή την δυναμικότητα της καλλιέργειας ως εναλλακτική καλλιέργεια για την παραγωγή βιοκαυσίμου. Η καλλιέργεια της ελαιοκράμβης σαν πηγή ενέργειας δε βοηθά απλώς το κλίμα μειώνοντας τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, αλλά είναι αρωγός στη διατήρηση των τελευταίων αποθεμάτων πετρελαίου. Τα ορυκτά καύσιμα που σήμερα κυριαρχούν στην αγορά στο μέλλον σταδιακά θα αντικατασταθούν από καύσιμα που προέρχονται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Η ανάπτυξη αυτών των καινούργιων καυσίμων απαιτεί όχι μόνο την εξέλιξη νέων μηχανικών συνόλων, αλλά και «ενεργειακών σοδειών», οι οποίες είναι απαραίτητες για τη δημιουργία βιοκαυσίμων.

Υιοθετώντας λοιπόν την κατάλληλη πολιτική στην χώρα μας η ελαιοκράμβη μπορεί να αντικαταστήσει κλασσικές καλλιέργειες που φθίνουν.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Αντωνόπουλος, Β., 1998. Χρησιμοποίηση νερού οριακής ποιότητας για άρδευση. Πρόγραμμα Αειφορικής Γεωργίας, Θεσσαλονίκη.
2. Παπαζαφειρίου, Ζ.Γ., 1984. Αρχές και πρακτική των αρδεύσεων. Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη.
3. Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη, Μ., 2003. Σημειώσεις αρδεύσεων. Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Θεσσαλίας, Βόλος.
4. Raymer P.L., 2002.Canola: An Emerging Oilseed Crop Trends in new crops and new isues, J. Janick and A. Whipkey. ASHSPress, Alexandria, VA., pp.
5. Γαλανοπούλου- Σενδούκα, Σ.,1997.Ειδική Γεωργία Π, Σημειώσεις, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.
6. Senior I.J. and Dale P.J., 2002. Herbicide-tolerant crops in agriculture: oilseed rape as acase study, Plant breeding, 121,97-107.
7. Mixon J., Dack j., Kraucunas I. And Feng J., 2003. The Case for Biodiesel, SubmittedforENVIRON550. ttp://www.chinaeol.net/bellreen/ppt/biodiesel %20final%20report.pdf.
8. Panoutsou, C., Djouras, N, and Kavadakis, G. 1998. Brassica carinata: The outset of a new crop for biomass and industrial non-food oil. First year Report. CRES.

(166)

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ ΕΔΑΦΟΥΣ ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΣΠΟΡΟΥ, ΕΛΑΙΟΥ ΚΑΙ ΠΙΤΑΣ ΔΥΟ ΥΒΡΙΔΙΩΝ ΗΛΙΑΝΘΟΥ ΣΤΗΝ ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΕΛΛΑΔΑ

Π. Α. Καλαβριώτου και Θ. Α. Γέμτος
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμ. Γεωπονίας, Φ. Π. & Αγρ. Περιβ., Εργ. Γεωργικής Μηχανολογίας, Οδός Φυτόκου, 38446 Ν. Ιωνία Μαγνησίας, E-mail:pkalav@uth.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της εργασίας αυτής ήταν να διερευνηθεί η δυνατότητα εξαγωγής λαδιού από σπόρους ηλίανθου σε επίπεδο αγροκτήματος. Δύο υβρίδια ηλίανθου καλλιεργήθηκαν κάτω από τέσσερις διαφορετικές μεθόδους κατεργασίας εδάφους. Η εξαγωγή λαδιού έγινε με ψυχρή συμπίεση των σπόρων σε κοχλιωτή πρέσα. Η ανάλυση των αποτελεσμάτων έδειξε ότι οι αποδόσεις της καλλιέργειας σε σπόρο επηρεάστηκαν από τη μέθοδο κατεργασίας, με τη συμβατική κατεργασία να δίδει την υψηλότερη τιμή των 4.44 t ha^{-1}, αντίθετα με τις εκατοστιαίες αποδόσεις των σπόρων σε ακατέργαστο λάδι, καθαρό λάδι και πίτα, οι οποίες δεν επηρεάστηκαν από τις κατεργασίες εδάφους, αλλά από το υβρίδιο φθάνοντας στο 37.03, 31.16, και 61.69 %, αντίστοιχα, για το αποδοτικότερο υβρίδιο Garysol και 34.04, 28.54 and 65.42 %, για το δεύτερο υβρίδιο, Frankasol.

EFFECT OF TILLAGE SYSTEMS IN SEED, OIL AND CAKE PRODUCTION OF TWO SUNFLOWER HYBRIDS IN CENTRAL GREECE

P.A. Kalavriotou and Th. A. Gemtos
University of Thessaly, Dept. of Crop Production and Rural Environment, Lab of Farm Mechanization, Fytoco, 38446 N. Ionia, Greece. E-mail: pkalav@uth.gr

ABSTRACT

The objective of this work was to investigate the possibility of sunflower oil extraction, in order to use it as fuel in farm machines. Two sunflower hybrids were cultivated under four different tillage methods. Cold oil extraction was realised with a small screw press. The analysis of the data showed that seed yield was affected by tillage systems, reaching to 4.44 t ha^{-1}, produced by the conventional tillage, contrary to raw oil, clean oil and press cake percentages, that were not affected by tillage systems, but by sunflower hybrids, that had a statistically significant influence on these percentages reaching to 37.03, 31.16 and 61.69 %, respectively for the most productive hybrid Garysol, and 34.04, 28.54 and 65.42 %, for the second hybrid, Frankasol.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το παγκόσμιο ενδιαφέρον εστιάζει σήμερα στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας για την προστασία του περιβάλλοντος. Εκτιμάται ότι το 21% του συνόλου των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου που συμβάλλουν στη θέρμανση της υδρογείου οφείλεται στις μεταφορές και το ποσοστό αυτό συνεχώς αυξάνει. Το 96% των παγκόσμιων ενεργειακών αναγκών για τις μεταφορές καλύπτουν τα ορυκτά υγρά καύσιμα. Τα βιοκαύσιμα, παραγόμενα από τη βιομάζα, μια ανανεώσιμη πηγή, αποτελούν άμεσο υποκατάστατο των ορυκτών καυσίμων στις μεταφορές και είναι δυνατόν να ενταχθούν σε συστήματα προμήθειας καυσίμου [1].

Ενεργειακά φυτά ελαιούχων σπόρων, όπως ο ηλίανθος (*Hellianthus annus* L.), θα μπορούσαν να καλλιεργηθούν για την παραγωγή υγρών βιοκαυσίμων. Διάφορες ποικιλίες και υβρίδια ηλίανθου έχουν αναπτυχθεί με μικρότερο ή μεγαλύτερο βιολογικό κύκλο, μέγεθος σπόρου, περιεκτικότητα σε λάδι και σύνθεση των λιπαρών οξέων. Οι αποδόσεις ουσιαστικά ποικίλουν ανάλογα με τις καλλιεργητικές τεχνικές και αγρονομικές εισροές. Σε ξηρικές καλλιέργειες οι μέσες αποδόσεις σε σπόρο φθάνουν τους 1.3-1.5 t ha^{-1}, ενώ σε αρδευόμενες καλλιέργειες φθάνουν τους 3.0-4.9 t ha^{-1} [2-6]. Ο ηλίανθος, ενώ έχει τη ικανότητα να εκμεταλλεύεται μεγάλο όγκο εδάφους, λόγω του μεγάλου όγκου του ριζικού του συστήματος, παρουσιάζει μικρή διεισδυτικότητα και οι ρίζες στρέφονται οριζόντια όταν παρουσιαστεί εμπόδιο, χάνοντας έτσι την ικανότητά του να αντλεί νερό και θρεπτικά στοιχεία από μεγάλα βάθη [7]. Οι επεμβάσεις της κατεργασίας του εδάφους έχουν τελικό στόχο την εξασφάλιση της καλής εγκατάστασης του φυτού και την δημιουργία συνθηκών κατάλληλων για την άριστη ανάπτυξη και μέγιστη απόδοσή του. Εκτός της συμβατικής κατεργασίας, άλλα συστήματα μειωμένης κατεργασίας στοχεύουν παράλληλα στην διατήρηση της αειφορίας του εδάφους (γονιμότητα, δομή) [8], και την μείωση του κόστους παραγωγής [15]. Ερευνητές αναφέρουν αντικρουόμενα αποτελέσματα στις αποδόσεις των καλλιεργειών κάτω από την επίδραση των διαφόρων συστημάτων κατεργασίας, προφανώς λόγω και άλλων παραγόντων που υπεισέρχονται (κλίμα, έδαφος). Παρατηρήθηκε ότι οι μειωμένες κατεργασίες και η ακαλλιέργεια δίνουν ίδιες ή μερικές φορές και μεγαλύτερες αποδόσεις από τις αποδόσεις της συμβατικής κατεργασίας, όταν η εδαφική υγρασία είναι χαμηλή (περιορισμένες βροχοπτώσεις ή άρδευση, καλά στραγγιζόμενα εδάφη ή ξηρά εδάφη), ενώ στις περιπτώσεις με υψηλές βροχοπτώσεις, υγρά και βαριά εδάφη [9-12], ή εδάφη με αυξημένο αριθμό ζιζανίων [13-14], η συμβατική κατεργασία έδωσε τα καλύτερα αποτελέσματα. Οι μειωμένες κατεργασίες και η ακαλλιέργεια δίνουν το ίδιο ή και μεγαλύτερο οικονομικό αποτέλεσμα από τις άλλες μεθόδους κατεργασίας, όταν η μικρότερη παραγωγή αντισταθμίζεται από την μειωμένη κατανάλωση ενέργειας και μειωμένο κόστος [15-16]. Οι μέθοδοι για την εξαγωγή λαδιού από ελαιούχους σπόρους είναι η μηχανική (θερμή ή ψυχρή πίεση) και η χημική μέθοδος (με διαλύτη - συνήθως εξάνιο). Η επεξεργασία εξαρτάται από την περιεκτικότητα των σπόρων σε λάδι [17-19]. Για σπόρους με χαμηλή περιεκτικότητα λαδιού μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο χημική επεξεργασία, ενώ για σπόρους με υψηλή περιεκτικότητα λαδιού χρησιμοποιείται η μηχανική επεξεργασία, ή και χημική η οποία ακολουθεί τη μηχανική επεξεργασία [20]. Οι αποδόσεις των σπόρων ηλίανθου σε λάδι με χημική επεξεργασία κυμαίνονται από 1,40-1,55 t ha^{-1} [4, 20]. Αντικρουόμενα αποτελέσματα υπάρχουν για την απόδοση λαδιού ανάλογα με την κατάσταση (θερμοκρασία, υγρασία) του εισαγόμενου στην πρέσα σπόρου.

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι να διερευνηθεί η δυνατότητα εξαγωγής λαδιού από σπόρους ηλίανθου με στόχο την άμεση χρησιμοποίησή του ως καυσίμου σε επίπεδο αγροκτήματος. Για το σκοπό αυτό θα μελετηθεί η επίδραση μεθόδων κατεργασίας εδάφους στις αποδόσεις σε σπόρο δυο υβριδίων ηλίανθου κάτω από τις εδαφοκλιματικές

συνθήκες της Κεντρικής Ελλάδας, και θα εξετασθεί εάν η απόδοση του παραγόμενου λαδιού και πίτας, με την διαδικασία της ψυχρής συμπίεσης, επηρεάζεται από τον τρόπο κατεργασίας του εδάφους και από το υβρίδιο.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας εγκαταστάθηκαν το 2006 δύο υβρίδια ηλίανθου στο Αγρόκτημα Βελεστίνου του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας. Το έδαφος του πειραματικού αγρού ήταν ιλυοαργιλώδες (9.7% άμμος, 41% ιλύς και 49.2% άργιλος). Το πειραματικό σχέδιο ήταν 4x2 παραγόντων (4 συστήματα κατεργασίας εδάφους x 2 υβρίδια ηλίανθου) σε τυχαία υπο-τεμάχια με τέσσερις επαναλήψεις. Οι παράγοντες ήταν: Ι) οι μέθοδοι κατεργασίες εδάφους (Σ: συμβατική κατεργασία, ΒΚ: μειωμένη κατεργασία με βαρύ καλλιεργητή, ΠΣ: μειωμένη κατεργασία με περιστροφικό σκαπτικό, Δ: μειωμένη κατεργασία με δισκοσβάρνα), που κατείχαν τα κύρια τεμάχια και ΙΙ) τα υβρίδια Garysol και Frankasol, που κατείχαν τα υπο-τεμάχια. Η προετοιμασία του εδάφους κατά τη συμβατική επεξεργασία περιελάμβανε όργωμα σε βάθος 0.27 m και κατεργασία με δισκοσβάρνα και καλλιεργητή ελαφρού τύπου, ενώ για τις υπόλοιπες τρεις μειωμένες κατεργασίες χρησιμοποιήθηκαν βαρύς καλλιεργητής σε βάθος 0.18 m και στη συνέχεια δισκοσβάρνα και καλλιεργητής ελαφρού τύπου, περιστροφικό σκαπτικό σε βάθος 0.13 m, και δισκοσβάρνα σε βάθος 0.08-0.10 m και στη συνέχεια καλλιεργητής ελαφρού τύπου.

Για τις ανάγκες της εξαγωγής λαδιού από τους συγκομισμένους σπόρους η διαδικασία που ακολουθήθηκε περιλάμβανε το καθάρισμα σπόρων, την εξαγωγή λαδιού και το φιλτράρισμα λαδιού. Μετά την συγκομιδή ο σπόρος καθαρίστηκε με φυσικό τρόπο (λίκνισμα σε ρεύμα αέρα) ή με μικρό διαλογέα με τρία δονούμενα κόσκινα σε τρία επίπεδα και μικρό ρεύμα αέρα. Το ποσοστό ξένων υλών ήταν της τάξεως του 0,5 % του καθαρισμένου σπόρου. Για την εξαγωγή του λαδιού ακολουθήθηκε η μηχανική επεξεργασία με πλήρη συμπίεση του σπόρου, και χρησιμοποιήθηκε κοχλιωτή πρέσα (Taby Press, type 40A) με τη διαδικασία της ψυχρής συμπίεσης. Το πειραματικό σχέδιο που χρησιμοποιήθηκε και στην περίπτωση της εκτίμησης της απόδοσης του σπόρου σε ακατέργαστο και καθαρό λάδι και πίτα ήταν επίσης 4x2 παραγόντων (4 συστήματα κατεργασίας εδάφους x 2 υβρίδια ηλίανθου) σε τυχαία υπο-τεμάχια με τέσσερις επαναλήψεις, όπως και στην προηγούμενη περίπτωση της εκτίμησης της απόδοσης της καλλιέργειας σε σπόρο. Η δυναμικότητα της πρέσας ήταν 2,5-6 l λαδιού/h, και η διάμετρος του ακροφυσίου εξαγωγής της πίτας 10 mm. Η κατάσταση του εισαγομένου στην πρέσα σπόρου ήταν σε θερμοκρασία περιβάλλοντος δωματίου (22-25°C) και υγρασία 4,5%. Δοκιμάστηκαν τρεις τρόποι καθαρισμού του παραγομένου λαδιού: α) καθαρισμός με μεταλλικά φίλτρα για την συγκράτηση των μεγαλυτέρων σωματιδίων, στη συνέχεια δύο μεταγγίσεις μετά από καθίζηση 3-4 ημερών και φιλτράρισμα του ιζήματος με φίλτρα διαφόρων τύπων, β) καθαρισμός με μεταλλικά φίλτρα για την συγκράτηση των μεγαλυτέρων σωματιδίων, δύο μεταγγίσεις μετά από καθίζηση 3-4 ημερών και φιλτράρισμα με χάρτινους κωνικούς ηθμούς διαμέτρου οπών 8 μm και γ) καθαρισμός με μεταλλικά φίλτρα για την συγκράτηση των μεγαλυτέρων σωματιδίων και φιλτράρισμα με χάρτινους κωνικούς ηθμούς διαμέτρου οπών 8 μm. Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε για την καταγραφή των αποτελεσμάτων ήταν η δεύτερη, όπου το ακατέργαστο λάδι μετά τις μεταγγίσεις παρέμενε στους ηθμούς μέχρι να διηθηθεί και να απομείνει στο φίλτρο ίζημα με την μικρότερη δυνατή περιεκτικότητα σε λάδι.

Για την ανάλυση των αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκε το στατιστικό πρόγραμμα του SPSS. Οι αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν στο Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας και στο Εργαστήριο Ελέγχου Ζωοτροφών Λάρισας.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Οι τελικές αποδόσεις των φυτών σε σπόρο επηρεάστηκαν από τις μεθόδους κατεργασίας του εδάφους που εφαρμόστηκαν, όπως φαίνεται στον *Πίνακα 1* και το *Σχήμα 1*. Πιο συγκεκριμένα οι αποδόσεις που προέκυψαν από την συμβατική κατεργασία (Σ) ήταν στατιστικά σημαντικά υψηλότερες από τις αποδόσεις των μειωμένων κατεργασιών (ΒΚ, ΠΣ, Δ) φθάνοντας τους 4.44 t ha^{-1} έναντι των 3.55, 3.32 και 3.41 t ha^{-1} των μειωμένων κατεργασιών, αντίστοιχα (p=0.01). Η μειωμένη κατεργασία με βαρύ καλλιεργητή (ΒΚ) έδωσε επίσης στατιστικά υψηλότερες αποδόσεις από τις μειωμένες κατ γασίες με περιστροφικό σκαπτικό (p=0.01) και με δισκοσβάρνα (p=0.05), ενώ το περιστροφικό σκαπτικό (ΠΣ) και η δισκοσβάρνα (Δ) δεν διαφοροποιήθηκαν σημαντικά μεταξύ τους στις αποδόσεις σε σπόρο, παρά την μικρή υπεροχή (κατά 0.09 t ha^{-1}) της κατεργασίας με δισκοσβάρνα έναντι της κατεργασίας με περιστροφικό σκαπτικό. Αντίθετα οι κατεργασίες φαίνεται ότι δεν επηρέασαν την εκατοστιαία απόδοση των σπόρων σε ακατέργαστο λάδι. Οι αποδόσεις αυτές, όπως φαίνεται και στην *Σχήμα 2*, διαμορφώθηκαν σε 35.37% για την συμβατική κατεργασία και σε 35.29, 35.30 και 36.17% για τις μειωμένες κατεργασίες, αντίστοιχα, παρουσιάζοντας μικρές μη στατιστικά σημαντικές διαφορές.

Πίνακας 1. Απόδοση σε σπόρο, ακατέργαστο λάδι και πίτα (t ha^{-1}) των τεσσάρων κατεργασιών και των δύο υβριδίων ηλίανθου

	Κατεργασίες				
	Σ	ΒΚ	ΠΣ	Δ	LSD
Σπόρος	4.44	3.55	3.32	3.41	** 0.19
Ακατέργαστο λάδι	1.57	1.25	1.17	1.24	** 0.11
Πίτα	2.84	2.25	2.12	2.15	** 0.16

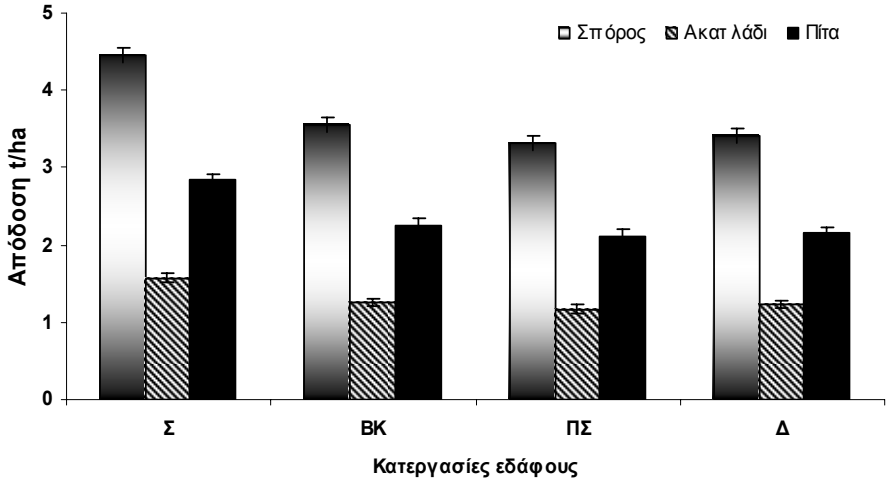
	Υβρίδια		
	Gar	Frank	LSD
Σπόρος	3.72	3.64	ns
Ακατέργαστο λάδι	1.38	1.24	** 0.07
Πίτα	2.30	2.38	ns

(** δηλώνουν στατιστικά σημαντική διαφορά για p=0.01)

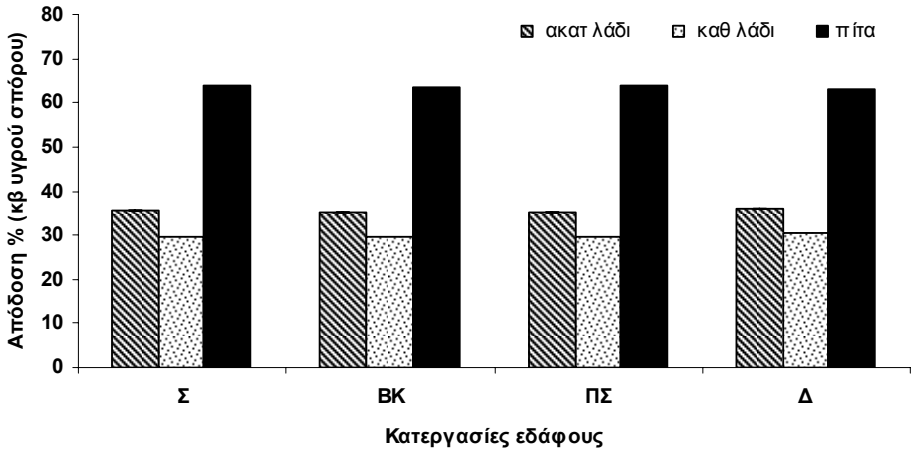
Όπως όμως ήταν αναμενόμενο οι ανά εκτάριο αποδόσεις σε ακατέργαστο λάδι επηρεάστηκαν από τις κατεργασίες, λόγω των διαφοροποιημένων αποδόσεων σε σπόρο (t ha^{-1}), φθάνοντας τους 1.57 t ha^{-1} για τη συμβατική κατεργασία έναντι των 1.25, 1.17 και 1.24 t ha^{-1} για τις μειωμένες κατεργασίες, αντίστοιχα (*Πίν. 1, Σχ. 1*). Οι μέθοδοι κατεργασιών επίσης δεν επηρέασαν στατιστικά σημαντικά τις εκατοστιαίες αποδόσεις σε καθαρό λάδι, καθώς και τις αποδόσεις σε πίτα, όπως φαίνεται στην *Σχήμα 2*.

Τα δύο υβρίδια του ηλίανθου φαίνεται ότι είναι ιδίων αποδόσεων σε σπόρο, με το υβρίδιο Garysol να εμφανίζει μία υπεροχή φθάνοντας τους 3.72 t ha^{-1} έναντι του Frankasol με 3.64 t ha^{-1}, η οποία όμως δεν είναι στατιστικά σημαντική (*Πίν. 1*). Όμως τα δύο υβρίδια δίνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές στις αποδόσεις σε ακατέργαστο λάδι με το πρώτο υβρίδιο να φθάνει στους 1.38 και το δεύτερο στους 1.24 t ha^{-1} (p=0.01). Αυτό εξηγείται με την ποσοστιαία απόδοση του παραγόμενου σπόρου (υγρασίας 4.5%) σε ακατέργαστο λάδι, που φθάνει στο 37.03 και 34.04 %, αντίστοιχα (p=0.01, *Σχ. 2*). Αυτό, σε ένα μικρό μέρος, μπορεί να εξηγηθεί με την διαφορετική περιεκτικότητα του σπόρου σε λάδι. Αναλύσεις που έγιναν σε σπόρους των δύο

υβριδίων έδειξαν ότι οι περιεκτικότητες διαφέρουν κατά 1% περίπου (40.61% στο Garysol και 39.73% στο Frankasol, σε σπόρο υγρασίας 4.5%), ποσοστό που είναι μικρό για να δικαιολογήσει τις εκατοστιαίες αποδόσεις των υβριδίων.



Σχήμα 1. Απόδοση σε σπόρο, ακατέργαστο λάδι και πίτα (t ha^{-1}) των τεσσάρων κατεργασιών και των δύο υβριδίων ηλίανθου



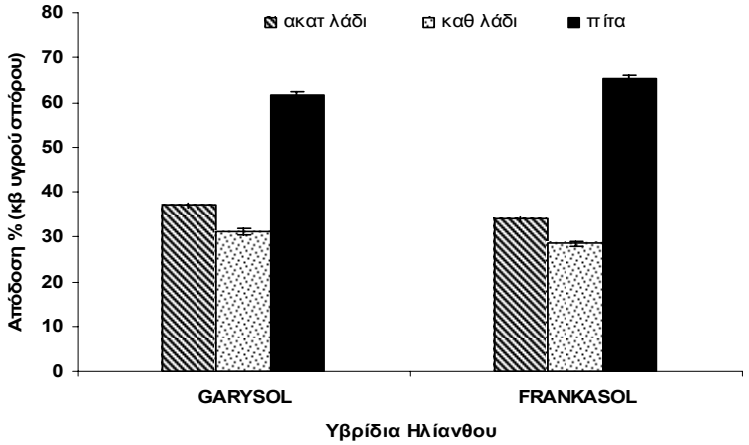
Σχήμα 2. Εκατοστιαία απόδοση (κβ) υγρού σπόρου ηλίανθου σε ακατέργαστο λάδι, καθαρό λάδι και πίτα, κάτω από τέσσερις κατεργασίες εδάφους

Μία πιθανή εξήγηση μπορεί να είναι η διαφορετική δυνατότητα των σπόρων να αποδώσουν το περιεχόμενο λάδι. Το υβρίδιο Garysol μπορεί να αποδώσει το 79.41% του περιεχόμενου λαδιού, ενώ το υπόλοιπο 20.59% μένει στις πίτες (pellets πρέσας και πίτα φίλτρου), ενώ το υβρίδιο Frankasol αποδίδει λιγότερο (74.58% του περιεχόμενου λαδιού) και φαίνεται ότι μεγάλο ποσοστό αφήνει στις πίτες (25.42%). Μία δεύτερη πιθανή εξήγηση μπορεί να είναι το μέγεθος των σπόρων. Οι σπόροι του Frankasol είναι

μικρότεροι από τους σπόρους του Garysol αποδίδοντας ξηρό βάρος 1000 σπόρων 64.42 και 77.75g αντίστοιχα. Αυτό μπορεί να σημαίνει ότι στην περίπτωση του Frankasol τα περικάρπια αντιπροσωπεύουν μεγαλύτερο ποσοστό του σπόρου από ότι στην περίπτωση Garysol, και επομένως μεγαλύτερη εκατοστιαία κ.β. απόδοση σε πίτα και μικρότερη σε λάδι (Σχ. *3*). Τέλος μία τρίτη πιθανή εξήγηση είναι η μεγαλύτερη διάρκεια των φαινολογικών σταδίων άνθησης και ωρίμανσης των σπόρων του υβριδίου Garysol. Όταν το υβρίδιο Garysol εμφάνιζε άνθηση 80%, το Frankasol εμφάνιζε άνθηση 10%, ενώ το αντίθετο συνέβη με την ωρίμανση, όπου, όταν το Frankasol βρισκόταν στο τέλος της ωρίμανσης το Garysol βρισκόταν στην αρχή της ωρίμανσης των σπόρων.

Στατιστικά σημαντικές διαφορές ((p=0.01, αντίστροφες όμως από αυτές των λαδιών) παρουσίασαν και οι αποδόσεις σε πίτα φθάνοντας στο 61.69 και 65.42 %, αντίστοιχα, όπως φαίνεται στη *Σχήμα 3*.

Όπως ήταν αναμενόμενο και οι εκατοστιαίες αποδόσεις σε καθαρό λάδι παρουσίασαν σημαντικές στατιστικά διαφορές στα δύο υβρίδια φθάνοντας στο 31.16 και 28.54% (p=0.01), αντίστοιχα.



Σχήμα 3. Εκατοστιαία απόδοση (κβ υγρού σπόρου) σε ακατέργαστο λάδι, καθαρό λάδι και πίτα δύο υβριδίων ηλίανθου

Η αλληλεπίδραση των κατεργασιών του εδάφους με τα υβρίδια δεν επηρέασε στατιστικά σημαντικά τις αποδόσεις σε σπόρο, ακατέργαστο λάδι, καθαρό λάδι και πίτα.

Αξίζει να σημειωθεί ότι το καθαρό λάδι από την τελευταία φάση των ηθμών λαμβανόταν με αργή φυσική ροή. Το ίζημα του φίλτρου αντιπροσωπεύει το 5.1% του συγκομισθέντος σπόρου. Εκτιμάται ότι το 11.36% κατά μέσο όρο και πλέον αυτής της ποσότητας (ή το 0.57% κατά μέσο όρο της παραγόμενης ποσότητας σπόρου) θα μπορούσε να αποδοθεί στο καθαρό λάδι, εάν ο καθαρισμός γινόταν υπό πίεση και όχι με φυσική ροή. Η υπόλοιπη ποσότητα 88.64% του ιζήματος φίλτρου ή το 4.5% της παραγόμενης ποσότητας σπόρου αποτελεί την πίτα φίλτρου, η οποία έχει μεγάλη περιεκτικότητα σε λάδι. Επί πλέον πρέπει να αναφερθεί ότι η ποσότητα του ιζήματος και του καθαρού λαδιού επηρεάζεται από τον τρόπο εξαγωγής και καθαρισμού του λαδιού. Παρατηρήθηκαν μέσες απώλειες της τάξεως του 1.7% επί της ποσότητας του ακατέργαστου λαδιού, λόγω των διαδοχικών μεταγγίσεων προκειμένου να επιτευχθεί η καθίζηση πριν το φιλτράρισμα. Οι απώλειες αυτές θα μπορούσαν να αποδώσουν μία

ποσότητα της τάξεως του 0.51% (του παραγομένου σπόρου) σε καθαρό λάδι. Από τα παραπάνω εύκολα συνεπάγεται ότι η απόδοση σε καθαρό λάδι θα μπορούσε να αυξηθεί ακόμη κατά 1.08% κατά μέσο όρο (0,57% και 0.51%) και να φθάσει στο 32.25 και 29.63% και πλέον για τα δύο υβρίδια, αντίστοιχα, εάν το φιλτράρισμα πραγματοποιείτο υπό πίεση μέσω κάποιας αντλίας. Τα ποσοστά αυτά μας δίνουν μέση παραγωγή καθαρού λαδιού 1.2 και 1.1 t ha^{-1} αντίστοιχα.

Από αναλύσεις που έγιναν στο Εργαστήριο Ελέγχου Ζωοτροφών Λάρισας η παραγόμενη πίτα (υπό μορφή pellets) αποτελείται από 25.27 % πρωτεΐνη, 20.79 % λάδι, 26.23 % ινώδεις ουσίες και 4.33 % τέφρα. Η πίτα αποτελεί εξαίρετη ζωοτροφή.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τα αποτελέσματα που παρουσιάστηκαν μπορούμε να συμπεράνουμε ότι η μέθοδος κατεργασίας του εδάφους επηρεάζει στατιστικά σημαντικά την απόδοση του ηλίανθου, με την συμβατική κατεργασία να δίδει την μεγαλύτερη τιμή των 4.44 t ha^{-1} σε σπόρο και 1.57 t ha^{-1} σε ακατέργαστο λάδι. Αντίθετα οι αποδόσεις σε σπόρο των δύο υβριδίων Garysol και Frankasol δεν διαφοροποιήθηκαν φθάνοντας κατά μέσο όρο τους 3.68 t ha^{-1}.

Η απόδοση σε λάδι εξαρτάται από την περιεκτικότητα του σπόρου σε λάδι και πιθανώς από την δυνατότητα αποδεύσμευσής του από το σπόρο, το μέγεθος του σπόρου (ποσότητα περικαρπίου), ή την διάρκεια των φαινολογικών σταδίων άνθισης-ωρίμανσης, δίδοντας στατιστικά σημαντικό προβάδισμα στο υβρίδιο Garysol με 1.38 t ha^{-1} σε ακατέργαστο λάδι και εκατοστιαίες αποδόσεις του παραγόμενου σπόρου (υγρασίας 4.5%) 37.03 % σε ακατέργαστο λάδι και 31.16 % σε καθαρό λάδι, ενώ αντίθετα στατιστικά υψηλότερες τιμές σε πίτα έδωσε το υβρίδιο Frankasol φθάνοντας το 65.42 %. Η μέθοδος κατεργασίας του εδάφους δεν επηρεάζει τις εκατοστιαίες αποδόσεις σε ακατέργαστο λάδι, καθαρό λάδι και πίτα.

Το καθάρισμα του λαδιού χρειάζεται συνδυασμό φυσικών μεθόδων όπως μεταλλικές σήτες για την συγκράτηση των μεγαλύτερων σωματιδίων, καθίζηση ή φιλτράρισμα με φίλτρα 8 μm για την συγκράτηση των μικρότερων σωματιδίων. Βελτίωση στην εκατοστιαία απόδοση καθαρού λαδιού κατά μία και πλέον μονάδα μπορεί να επιφέρει το καθάρισμα του λαδιού με άλλους τρόπους (παροχέτευση του εξερχόμενου λαδιού σε φίλτρα μέσω αντλίας, για την αποφυγή απωλειών λόγω διαδοχικών μεταγγίσεων και την απολαβή περισσότερου λαδιού από το ίζημα φίλτρου).

Τέλος μπορούμε να συμπεράνουμε ότι κοχλιωτές πρέσες μικρής δυναμικότητας (με πλήρη ψυχρή συμπίεση), μπορούν να λειτουργήσουν και να παράγουν λάδι σε μια γεωργική εκμετάλλευση ή σε ομάδα γεωργικών εκμεταλλεύσεων από το σπόρο ηλίανθου που παράγεται από αυτές.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Biofuels Research Advisory Council, 2006. Biofuels in the European Union. A vision for 2030 and beyond.
2. Farsaie, A., DeBarthe, J.V., Kenworthy, W.J., LessleY, B.V. and Wiebold, W.J., 1985. Analysis of Producing Vegetable Oil as an Alternate Fuel. *Energy in Agriculture,* 4, 189-205.
3. FAO, 2001. Διαθέσιμο στο http/www.fao. org.
4. Geronikolou, L., Danalatos, N.G., Archontoulis, S., Kalavriotou, P. and Papadakis, G., 2004. Experimental Study of the potential Sunflower Oil Production in Greece to be used as an Alternative Fuel. Proceedings of the "2nd World Conference and

Technology Exhibition on Biomass for Energy, Industry and Climate Protection", Rome, 10-14 May 2004.
5. Danalatos, N.G., P. Kalavriotou, S. Archondoulis, L. Geronikolou and Papadakis, G., 2004. Potential growth and productivity of three sunflower hybrids in a soil with aquic moisture regime in central Greece. Proceedings of the "2nd World Conference and Technology Exhibition on Biomass for Energy, Industry and Climate Protection", Rome, 10-14 May 2004
6. Καλαβριώτου, Α.Π., 2005. Αύξηση και Ανάπτυξη του Ηλίανθου και του Κενάφ για την Παραγωγή Βιομάζας και Βιοενέργειας στην Κεντρική Ελλάδα. Μεταπτυχιακή Διατριβή. Πανεπιστήμιο Αιγαίου.
7. Ξανθόπουλος, Φ.Π., 1993. Ο ηλίανθος. Εθνικό Ίδρυμα Αγροτικής Έρευνας. Ινστιτούτο Βάμβακος και Βιομηχανικών Φυτών. Θεσσαλονίκη.
8. ASAE, 2002.Standards. Terminology and definitions for soil tillage and soil tool relationships, EP291.2. American Society of Agricultural Engeneers. St . Joseph Michigan.
9. 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, 53, 41-47.
10. Dick, W.A., McCoy, E.L., Edwards, W.M. and Lal, R., 1991. Continuous application of No-Tillage to Ohio soils. Agronomy Journal, 83, 65-73.
11. Hajabbasi, M.A. and Hemmat, A., 2000. Tillage impacts on aggregate stability and crop productivity in a clay-loam soil in central Iran, Soil and Tillage Research, 56, 205-212.
12. Hussain, I., Olson, K.R. and Ebelhar, S.A., 1999. Impacts of tillage and no-till on production of maize and soybean on an eroded Illinois silt loam soil, Soil and Tillage Research, 52, 37-49.
13. Kouwenhoven, J.K., Perdok, U.D., Boer, J. and Oomen G.J.M., 2002. Soil management by shallow mouldboard ploughing in The Netherlands. Soil and Tillage Research, 65, 125-139.
14. Καβαλάρης, Χ., 2004. Εφαρμογή μειωμένων εισροών για την κατεργασία του εδάφους σε συστήματα αμειψισποράς ζαχαρότευτλων, βαμβακιού και καλαμποκιού. Διδακτορική Διατριβή. Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.
15. Gemtos T.A., Galanopoulou, S. and Kavalaris, C., 1998. Wheat establishment after cotton with minimum tillage. European Journal of Agronomy, 8, 137-147.
16. Al-Kaisi, M.M. and Yin, X., 2004. Stepwise time response of corn yield and economic return to no tillage. Soil and Tillage Research, 78, 91-101.
17. Singh, J. and Bargale, P. C., 2000. Development of a small capacity double stage compression screw press for oil expression. Journal of Food Engineering, 43, 75–82.
18. Singh, J. and Bargale, P. C., 1990. Mechanical Expression of Oil from Linseed. Journal of Oilseeds Research, 7, 106–110.
19. Wiesenborn, D., Doddapaneni, R., Tostenson, K. and Kangas, N., 2001. Cooking Indices to Predict Screw-press Performance for Crambe Seed. Journal of American Oil Chemists' Society, 78(5), 467-471.
20. Riva, G. and Sissot, F., 1999. Vegetable Oils and Their Esters. Energy and Biomass Engineering, GIGR Handbook of Agricultural Engineering, V, 164-167.

(190)

ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΕΛΑΙΟΥ ΗΛΙΑΝΘΟΥ ΜΕ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΜΕΙΩΜΕΝΗΣ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ

Χ. Καβαλάρης, Χ. Καραμούτης, Π. Καλαβρυώτου και Θ.Α. Γέμτος
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Σχολή Γεωπονικών Επιστ., Τμ. Γεωπονίας Φ. Π. & Α. Π., Οδός Φυτόκου, 38446, Ν. Ιωνία Μαγνησίας, [α]gemtos@uth.gr,

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η καλλιέργεια ενεργειακών φυτών για παραγωγή βιο-καυσίμων που θα υποκαταστήσουν το πετρέλαιο αποτελεί μια από τις πλέον προσδόκιμες προσπάθειες εξεύρεσης εναλλακτικών μορφών ενέργειας για το μέλλον. Για να είναι αποτελεσματικό ένα τέτοιο σύστημα, η παραγωγική διαδικασία θα πρέπει να στηρίζεται σε μειωμένες εισροές. Η κατάρτιση ισοζυγίων εισροών και εκροών ενέργειας μπορεί να δώσει σημαντικά στοιχεία για την αξιολόγηση αυτού. Σε ένα πείραμα δοκιμάστηκε η απόδοση του ηλίανθου με συμβατική κατεργασία και 4 συστήματα μειωμένης κατεργασίας. Η συμβατική μέθοδος παρουσίασε τον υψηλότερο συντελεστή απόδοσης της ενέργειας

SUNFLOWER BIODIESEL PRODUCTION WITH REDUCED TILLAGE. ESTIMATION OF ENERGY BUDGETS

C. Cavalaris, C. Karamoutis, P. Kalavryotou and T.A. Gemtos
University of Thessaly, Sch. of Agricultural Sc., Dept. of Agriculture Crop Prod. & Rural Env., Fytokou Str, 38446, N. Ionia Magnesias, [a]gemtos@uth.gr

ABSTRACT

The cultivation of energy crops for bio-fuel production to substitute oil is one of the most compromising efforts to find alternative energy resources for the future. In order to maximize the efficiency of such a system, the production stage should be based on reduced energy inputs. The constitution of an "energy balance' can give important information to evaluate these systems. One conventional tillage method and four reduced tillage were tested on a trial for sunflower production. The results indicated greater energy efficiency for the conventional method.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα βιοκαύσιμα αποτελούν μια από τις πιο ενδιαφέρουσες εναλλακτικές μορφές παραγωγής ενέργειας διότι το ισοζύγιο εκπομπής CO_2 στην ατμόσφαιρα είναι μηδενικό συμβάλλοντας με αυτό τον τρόπο στη προστασία του περιβάλλοντος [1]. Άμεσος στόχος της Ε,Ε, είναι να υποκαταστήσει ένα σημαντικό ποσοστό του πετρελαίου (~10%) με βιο-καύσιμα Μια από τις πλέον ενδιαφέρουσες καλλιέργειες για παραγωγή βιοκαυσίμων είναι ο ηλίανθος εξαιτίας της υψηλής περιεκτικότητας των σπόρων σε λάδι το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε αυτούσιο είτε σε πρόσμιξη με το πετρέλαιο, είτε ως πρώτη ύλη για παραγωγή βιοντήζελ. Η περίπτωση της χρήσης του ελαίου σε μείγματα με το πετρέλαιο ως καύσιμο αποκτά ιδιαίτερο πρακτικό ενδιαφέρον για τις γεωργικές επιχειρήσεις οι οποίες θα μπορούσαν από μόνες τους να παράγουν μια ποσότητα από τα απαραίτητα για την λειτουργία τους καύσιμα. Έτσι θα περιορίσουν το κόστος παραγωγής και επιπλέον θα αποκτήσουν σχετική απεξάρτηση από τις διακυμάνσεις των τιμών του πετρελαίου. Η μοναδική επένδυση που απαιτείται για το σκοπό αυτό είναι η προμήθεια ενός μικρού κοχλιωτού συμπιεστή εξαγωγής του ελαίου. Για να καταστεί ωστόσο η μορφή βιώσιμη θα πρέπει να βασίζεται σε μια παραγωγική διαδικασία με μειωμένες εισροές ενέργειας που θα εξασφαλίζουν ένα θετικό ενεργειακό ισοζύγιο. Σχετική μελέτη της ενεργειακής απόδοσης για μη αρδευόμενη καλλιέργεια ηλίανθου στον Ελλαδικό χώρο έχει δείξει ενθαρρυντικά αποτελέσματα [2].

Στην εργασία αυτή επιχειρείται η κατάρτιση ενός ενεργειακού ισοζυγίου για μια αρδευόμενη καλλιέργεια. Η απόδοση του ηλίανθου δοκιμάστηκε με πέντε διαφορετικές μεθόδους κατεργασίας του εδάφους (μια συμβατική μέθοδο και τέσσερις μεθόδους μειωμένων εισροών). Για κάθε μια από τις μεθόδους καταρτίστηκε ένα ισοζύγιο εισροών και εκροών ενέργειας που υποδεικνύει την αποτελεσματικότητά τους. Στις ενεργειακές εισροές δεν συμπεριλήφθηκε η ανθρώπινη εργασία.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Το πείραμα διενεργήθηκε σε ένα πειραματικό αγρό όπου εφαρμόζονταν πέντε μέθοδοι κατεργασίας του εδάφους στα ίδια τεμάχια επί μια σειρά εννέα συνεχόμενων ετών. Οι μέθοδοι αυτοί ήταν:

1) Συμβατική κατεργασία (Σ). Όργωμα για πρωτογενή κατεργασία και προετοιμασία της σποροκλίνης με δυο ή περισσότερα περάσματα με δισκοσβάρνα ή καλλιεργητή προετοιμασίας αναλόγως των συνθηκών. Για τη τρέχουσα καλλιεργητική περίοδο πραγματοποιήθηκε αργά το φθινόπωρο όργωμα σε ένα μέσο βάθος 27 cm και την άνοιξη λίγο πριν τη σπορά δυο περάσματα με δισκοσβάρνα και δυο με καλλιεργητή προετοιμασίας. .

2) Μειωμένη κατεργασία με βαρύ καλλιεργητή (ΒΚ) για πρωτογενή κατεργασία και προετοιμασία της σποροκλίνης όπως ανωτέρω. Την τρέχουσα περίοδο έγινε πέρασμα με βαρύ καλλιεργητή σε βάθος 18 cm την άνοιξη καθώς και 2 περάσματα με δισκοσβάρνα και 2 με καλλιεργητή προετοιμασίας λίγο πριν τη σπορά

3) Μειωμένη κατεργασία με περιστροφικό σκαπτικό με κατακόρυφα ελάσματα. (ΠΣ) Την τρέχουσα περίοδο πραγματοποιήθηκε κατεργασία την άνοιξη σε μέσο βάθος 13 cm και ένα πέρασμα με δισκοσβάρνα λίγο πριν τη σπορά

4) Μειωμένη κατεργασία με δισκοσβάρνα (Δ), δυο η περισσότερα περάσματα αναλόγως των συνθηκών. Την τρέχουσα περίοδο πραγματοποιήθηκαν συνολικά 4 περάσματα με δισκοσβάρνα σε βάθος 8 cm και ένα πέρασμα με καλλιεργητή προετοιμασίας στο ίδιο βάθος.

5) Ακαλλιέργεια (Α). Στη μέθοδο αυτή τα εννέα τελευταία έτη δεν γίνονταν καμία απολύτως επέμβαση κατεργασίας του εδάφους. Η σπορά γινόταν απ' ευθείας πάνω από

τα φυτικά υπολείμματα και η βλάστηση καταστρέφονταν πριν από το φύτρωμα της καλλιέργειας με εφαρμογή glyphosate. Η ίδια τακτική ακολουθήθηκε και για την εγκατάσταση του ηλίανθου.

Στο πείραμα σπάρθηκαν δύο ποικιλίες ηλιάνθου (Garysol, και Frankasol) που συνδυάστηκαν με τις πέντε μεθόδους κατεργασίας σε ένα πειραματικό σχέδιο ομάδων με υπο-ομάδες σε τέσσερις επαναλήψεις. Τα πειραματικά τεμάχια ήσαν συνολικά 40 και είχαν διαστάσεις 50×3 m. Για όλες τις μεταχειρίσεις ακολουθήθηκαν οι κοινές καλλιεργητικές τεχνικές. Στις καλλιεργητικές εργασίες χρησιμοποιήθηκαν οι δύο γεωργικοί ελκυστήρες του αγροκτήματος (Ford 8210, με τέσσερις κινητήριους τροχούς και ονομαστική ισχύ 82 kW και Ford 5640 με δύο κινητήριους τροχούς και ονομαστική ισχύ 55 kW). Ο μεγάλος γεωργικός ελκυστήρας χρησιμοποιήθηκε για τις κατεργασίες του εδάφους και ο μικρός για την σπορά και τις υπόλοιπες καλλιεργητικές επεμβάσεις.

Παρακάτω περιγράφεται ο τρόπος υπολογισμού των εισροών και εκροών ενέργειας για τα διάφορα στάδια της παραγωγής. Μεταξύ των δυο ποικιλιών δεν βρέθηκε στατιστικώς σημαντική διαφορά στην απόδοση και γι΄ αυτό το ενεργειακό ισοζύγιο καταρτίστηκε για την μια (*Garysol*) από τις δύο ποικιλίες. Επίσης, επειδή το φύτρωμα του ηλίανθου στην ακαλλιέργεια ήταν ανεπαρκές (πιθανόν εξαιτίας της χρήσης συμβατικής σπαρτικής αντί μιας ειδικής σπαρτικής για σπορά σε ακαλλιέργεια) η μέθοδος απέτυχε και γι' αυτό εξαιρέθηκε από τους ενεργειακούς υπολογισμούς.

2.1 Κατεργασία του εδάφους

Υπολογίστηκε η κατανάλωση ενέργειας σταθερών στοιχείων (απόσβεση ενέργειας κατασκευής μεταφοράς, εμπορίας καθώς και ενέργεια για επισκευές και συντήρηση) και η ενέργεια των μεταβλητών στοιχείων (κατανάλωση καυσίμου, χρήση λιπαντικών) των μηχανημάτων που χρησιμοποιήθηκαν. Για τα σταθερά στοιχεία, με βάση το βάρος των μηχανημάτων εκτιμήθηκε η ενέργεια κατασκευής (86,77 MJ/kg) [3], μεταφοράς και εμπορίας (8,8 MJ/kg) [3] καθώς και η ενέργεια που θα προστεθεί σε αυτά καθ' όλη τη διάρκεια της οικονομικής τους ζωής μέσω των επισκευών και της συντήρησης [3] (Πίνακας 1). Διαιρώντας με την οικονομική ζωή των μηχανημάτων υπολογίστηκε η ωριαία απόσβεση ενέργειας σταθερών στοιχείων για τον ελκυστήρα και τα παρελκόμενα μηχανήματα. Από τα χαρακτηριστικά εργασίας των μηχανημάτων (πλάτος, ταχύτητα εργασίας) και αντίστοιχους συντελεστές απόδοσης στο χωράφι (Πίνακας 1) βρέθηκε η πραγματική απόδοση στο χωράφι (σε στρ/h). Το πηλίκο της ωριαίας απόσβεσης ενέργειας προς την πραγματική απόδοση εργασίας έδωσε την κατανάλωση ενέργειας σταθερών στοιχείων των μηχανημάτων (σε MJ/στρ) κατά την εργασία τους στο χωράφι (Πίνακας 1).

Η κατανάλωση ενέργειας μεταβλητών στοιχείων υπολογίστηκε από στοιχεία δυναμομετρήσεων που λήφθησαν σε ετήσια βάση το διάστημα 1998-2004. Την περίοδο αυτή, κατά την κατεργασία του εδάφους στις πέντε μεταχειρίσεις του πειράματος χρησιμοποιήθηκε ο εξοπλισμός του εργαστηρίου που είχε την δυνατότητα να καταγράφει την ελκτική δύναμη, την ροπή και την γωνιακή ταχύτητα στον δυναμοδότη, και την ταχύτητα κίνησης του γεωργικού ελκυστήρα [4]. Χρησιμοποιήθηκαν οι μέσοι όροι των μετρήσεων για την σειρά των ετών. Από τα παραπάνω στοιχεία υπολογίστηκαν η απορροφόμενη ισχύς στην έλξη και στον δυναμοδότη. Στην συνέχεια, λαμβάνοντας υπόψη ένα συντελεστή μετάδοσης της ισχύος στο δυναμοδότη ίσο με 0,88 [5] και τους συντελεστές μετάδοσης ισχύος στην έλξη που φαίνονται στον πίνακα 2 οι οποίοι υπολογίστηκαν σε μετρήσεις του εργαστηρίου υπολογίσθηκαν με τη σειρά, η ισοδύναμη ισχύς στο PTO, ο λόγος φόρτισης του κινητήρα του ελκυστήρα, η ειδική κατανάλωση καυσίμου, ο συντελεστής απόδοσης της ισχύος από τον κινητήρα στο PTO και η ενέργεια του καταναλισκομένου καυσίμου. Επιπλέον, για την λειτουργία του ελκυστήρα

απαιτείται μια ποσότητα λιπαντικού η ενέργεια του οποίου εκτιμήθηκε ίση με 4% της ενέργειας του καυσίμου [3].

Εκτός από τα μηχανήματα κατεργασίας, μετρήσεις λήφθηκαν και για τα υπόλοιπα μηχανήματα που χρησιμοποιήθηκαν στην καλλιέργεια. Για τα μηχανήματα αυτά υπολογίσθηκε επίσης η ενέργεια σταθερών και μεταβλητών στοιχείων (Πίνακες 1 & 2).

2.2 Λίπανση

Για την λίπανση της καλλιέργειας προστέθηκαν στο έδαφος 2,75 μονάδες N, 3,75 μονάδες P και 3,75 μονάδες K ανά στρ. Το άζωτο καταναλώσνει για την παραγωγή και τη διακίνησή του 76,6 MJ/kg ο φώσφορος 16 MJ/kg και το κάλιο 12,8 MJ/kg. [6]. Το λίπασμα προστέθηκε με ένα φυγοκεντρικό λιπασματοδιανομέα για την λειτουργία του οποίου συνυπολογίσθηκε η κατανάλωση ενέργειας (Πίνακας 3).

2.3 Έλεγχο ζιζανίων

Για τον έλεγχο των ζιζανίων έγινε προφυτρωτική εφαρμογή του μείγματος 300 g/στρ Treflan και 250 g/στρ Prometryne. Η εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων έγινε με ένα ψεκαστικό 500 l πλάτους ψεκασμού 12 m που προσαρμόστηκε στο μικρό γεωργικό ελκυστήρα. Για τα χρησιμοποιούμενα σκευάσματα, έγινε εκτίμήση της περιεχόμενης ενέργειας βάσει βιβλιογραφικών δεδομένων [6] και στην ποσότητα αυτή προστέθηκε η κατανάλωση ενέργειας από το ψεκαστικό και τον γεωργικό ελκυστήρα που χρησιμοποιήθηκαν για την εφαρμογή τους (Πίνακας 3)

2.4 Σπορά

Η σπορά του ηλίανθου έγινε σε γραμμές πλάτους 0,75m με μια τετράσειρη σπαρτική πνευστού τύπου. Χρησιμοποιήθηκαν ~9000 σπόροι/στρ που αντιστοιχούν σε 0,77 kg στο στρέμμα. Πολλαπλασιάζοντας με την αντίστοιχη ενεργειακή περιεκτικότητα του σπόρου [2] και προσθέτοντας το ποσό ενέργειας που καταναλώθηκε για την σπορά (μεταβλητά και σταθερά στοιχεία ελκυστήρα και σπαρτικής) υπολογίζεται (Πίνακας 3) οι εισροές ενέργειας για την σπορά της καλλιέργειας.

2.5 Άρδευση

Για την άρδευση της καλλιέργειας χρησιμοποιήθηκε νερό από την γεώτρηση του Αγροκτήματος η οποία είναι σε βάθος 150 m. Πραγματοποιήθηκε ένα πότισμα για το φύτρωμα της καλλιέργειας με ένα αυτοκινούμενο αρδευτή με εκτοξευτήρα (καρούλι) όπου εφαρμόστηκαν 20 m^3/στρ νερού. Στην συνέχεια, ανά δεύτερη γραμμή καλλιέργειας, απλώθηκαν σταλακτηφόροι σωλήνες Φ20 που έφεραν σταλάκτες παροχής 4 lt/h ανά 1 m. Πραγματοποιήθηκαν ακόμη τέσσερα ποτίσματα και μέχρι το τέλος εφαρμόστηκαν άλλα 220 m^3/στρ νερού

Για την άρδευση υπολογίστηκαν οι εισροές ενέργειας των μεταβλητών και των σταθερών στοιχείων του εξοπλισμού. Για τα μεταβλητά στοιχεία χρησιμοποιήθηκε η εξίσωση του Slogget. [7]. Η εξίσωση εφαρμόστηκε δύο φορές, μια για την άρδευση με τον αυτοκινούμενο αρδευτή και μια για την άρδευση με σταλακτηφόρους σωλήνες.

$$DE = \frac{EU}{EF_p \times EF_l} \times \frac{Q}{EF_c} \times TDH$$

DE είναι οι εισροές ενέργειας μέσω της άρδευσης (σε MJ/στρ),

EU η ενέργεια που απαιτείται για την άντληση 1000m^3 νερού από βάθος 1m,

EFp ο συντελεστής απόδοσης της μονάδας ισχυοδότησης της αντλίας. Για την περίπτωση του Αγροκτήματος, όπου η αντλία λειτουργούσε με ηλεκτροκινητήρα ο συνολικός συντελεστής απόδοσης της ηλεκτρικής ενέργειας υπολογίστηκε ίσος με 0,18 (0,18 = 0,25 X 0,85 X 0,825, όπου 0,25 = συντελεστής απόδοσης κατά την μετατροπή της ορυκτής ενέργειας σε ηλεκτρική, 0,85 = συντελεστής απόδοσης του

δικτύου διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας και 0,825 = συντελεστής απόδοσης του ηλεκτροκινητήρα) [7].

EF_l είναι ο συντελεστής απόδοσης της αντλίας. Για την αντλία του αγροκτήματος (βάθος άντλησης 150 m, παροχή 20 m^3/h) εκτιμήθηκε ίσος με 0,76 [7].

Q είναι η χρησιμοποιούμενη ποσότητα νερού για την άρδευση (20m^3/στρ με τον αυτοκινούμενο αρδευτή και 220m^3/στρ με τους σταλακτηφόρους σωλήνες).

EFc ο συντελεστής απόδοσης του συστήματος διανομής και μεταφοράς του νερού στον αγρό ο οποίος από στοιχεία του Slogget λήφθηκε ίσος με 0,91 για την περίπτωση της χρήσης αυτοκινούμενου αρδευτή και ίσος με 0,91 για την άρδευση με δίκτυο σταλακτηφόρων σωλήνων [7].

TDH είναι το ολικό μανομετρικό ύψος του νερού που για την περίπτωση άρδευσης με αυτοκινούμενο αρδευτή (πίεση λειτουργίας δικτύου 8 atm = 80m) ισούται με 150m + 80m = 230m ενώ για άρδευση με σταλακτηφόρους σωλήνες (πίεση λειτουργία δικτύου 2,5 atm=25m) ήταν ίσο με 150m + 25m = 175m.

Για την κατανάλωση ενέργειας σταθερών στοιχείων υπολογίστηκε η απόσβεση ενέργειας του αρδευτικού εξοπλισμού (Πίνακας 1)

2.6 Συγκομιδή - μεταφορά

Η συγκομιδή της καλλιέργειας έγινε με τη θεριζοαλωνιστική πειραματικών τεμαχίων του Αγροκτήματος (τύπος HEGE 125). Το περιορισμένο πλάτος του μηχανήματος (1,5m) δίνει μικρή απόδοση εργασίας και γι΄ αυτό στον υπολογισμό του ενεργειακού ισοζυγίου υποτέθηκε ότι η συγκομιδή έγινε με μια πεντάσειρη μηχανή συγκομιδής ηλίανθου. Η απόσβεση των σταθερών στοιχείων της μηχανής φαίνεται στον Πίνακα 1 ενώ η ενέργεια των μεταβλητών στοιχείων υπολογίστηκε θεωρητικά από βιβλιογραφικά δεδομένα της ειδικής κατανάλωσης καυσίμου [8].

Για την μεταφορά υποτέθηκε ότι ο παραγωγός χρησιμοποιεί μια πλατφόρμα δυναμικότητας 5 τόνων την οποία κινεί με τον μεγάλο γεωργικό ελκυστήρα των 82 kW με μια μέση ταχύτητα 20 km/h. Η μέση απόσταση μεταφοράς του προϊόντος από τον αγρό στην αποθήκη του παραγωγού θεωρήθηκε 5 km. Λαμβάνοντας υπόψη μια κατανάλωση ενέργειας 0,0018 MJ/kg·km [9]υπολογίστηκε η κατανάλωση ενέργειας μεταβλητών στοιχείων για τη μεταφορά. Στην ποσότητα αυτή προστέθηκε η απόσβεση της ενέργειας των σταθερών στοιχείων του γεωργικού ελκυστήρα και της πλατφόρμας μεταφοράς (Πίνακας 1).

2.7 Επεξεργασία

Η σύνθλιψη του σπόρου για την εξαγωγή του ελαίου έγινε με ένα κοχλιωτό συμπιεστή (Taby Press mod.4) που διαθέτει το Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας. Η μονάδα ισχυοδότησης του συμπιεστή είναι ένας τριφασικός ηλεκτροκινητήρας ισχύος 1,5kW. Στον ηλεκτροκινητήρα συνδέθηκε ένα βατόμετρο με το οποίο μετρήθηκε η απορροφόμενη ισχύς η μέση τιμή της οποίας ήταν 0,870 kW. Παράλληλα μετρήθηκε η απόδοση του μηχανήματος σε προϊόν που ήταν 16,77 kg/h. Από τα παραπάνω στοιχεία υπολογίστηκε η απορροφόμενη ενέργεια για την έκθλιψη ίση με 0,21 MJ/kg σπόρου. Λαμβάνοντας υπόψη το συντελεστή EFp για τον ηλεκτροκινητήρα ίσο με 0,18 (παράγραφος Άρδευση) υπολογίζεται η καταναλισκόμενη ενέργεια ίση με 1,14 MJ/kg. Η ποσότητα αυτή πολλαπλασιαζόμενη με την παραγωγή του ηλίανθου σε κάθε μέθοδο κατεργασίας δίνει την κατανάλωση ενέργειας μεταβλητών στοιχείων ανά στρέμμα Στην ποσότητα αυτή προστέθηκε και η απόσβεση της ενέργειας των σταθερών στοιχείων του κοχλιωτού συμπιεστή (Πίνακας 1).

2.8 Εκροές ενέργειας

Οι εκροές ενέργειας υπολογίστηκαν από τα παράγωγα της σύνθλιψης του ηλιόσπορου. Κατά την διαδικασία της σύνθλιψης βρέθηκε ότι ο σπόρος έδινε 33,5%

ελαίου και 66,5% πίτας. Η ενεργειακή περιεκτικότητα του ελαίου είναι 39,4 MJ/kg και του σπόρου 19,6 MJ/kg [2]. Από τα παραπάνω στοιχεία υπολογίστηκε η παραγωγή σε λάδι και πίτα (σε kg/στρ) και οι ενεργειακές εκροές μέσω του ελαίου και της πίτας (Πίνακας 4).

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Στους πίνακες 1 & 2 φαίνονται τα χαρακτηριστικά των υπολογισμών για την εύρεση των σταθερών και μεταβλητών εισροών ενέργειας του γεωργικού εξοπλισμού. Στον Πίνακα 3 φαίνονται οι εισροές ενέργειας για τη λίπανση την εφαρμογή ζιζανιοκτόνων και τη σπορά. Ο Πίνακας 4 συνοψίζει τις εισροές ενέργειας για κάθε μια από τις τέσσερις διαφορετικές μεθόδους κατεργασίας. Επίσης περιλαμβάνει τις εκροές ενέργειας που υπολογίζονται με βάση την απόδοση σε λάδι και πίτα. Από τα στοιχεία αυτά υπολογίζεται η "*καθαρή ενέργεια*" (ως η διαφορά των εισροών από τις εκροές) και ο "*συντελεστής απόδοσης της ενέργειας*" ως ο λόγος των εκροών προς τις εισροές

Πίνακας 1. Ενέργεια σταθερών στοιχείων του μηχανολογικού εξοπλισμού

	Βάρος (Kg)	Πλάτος εργασίας (m)	Ταχύτητα εργασίας (km/h)	FE[1]	Πραγμ στρεμ. απόδοση (στρ/h)	LT[2] (h)	E_{RMT}[3]	Απόσβεση ενέργειας σταθερών στοιχείων		
								Μηχανή-ματος	Ελκυσ-τήρα (MJ/στρ)	ΣΥΝΟΛΟ
Γεωργ. ελκυστήρας (82 kW)	4200						0,49			
Γεωργ. ελκυστήρας (55kW)	2520						0,49			
Μηχανήματα κατεργασίας										
Άροτρο	500	1,2	3,98	0,85	4,06	2000	0,97	11,06	8,92	19,99
Βαρύς καλλιεργητής	370	2	4,29	0,85	7,29	2000	0,51	3,55	4,97	8,52
Εδαφοσχίστης	600	1,8	3,57	0,85	5,47	2000	0,51	7,67	6,63	14,30
Περιστροφικός καλλιεργητής	720	2,5	3,83	0,85	8,13	1500	0,59	8,66	4,46	13,12
Δισκοσβάρνα	1050	3	8,60	0,80	20,64	2000	0,61	3,78	1,76	5,53
Ελαφρύς καλλιεργητής	280	2,3	7,81	0,85	15,27	2000	0,61	1,36	2,37	3,74
Λοιπά μηχανήματα										
Σπαρτική	400	3	7,10	0,65	13,85	1500	0,43	2,56	2,09	4,65
Ψεκαστικό	130	12	10,83	0,65	84,50	1500	0,37	0,13	0,34	0,47
Λιπασματοδιανομέας	150	12	7,50	0,70	63,00	1200	0,49	0,27	0,46	0,73
Μηχανή συγκομιδής	7000	3,75	4,0	0,65	9,8	2000	0,24	64,3		64,28
Εξοπλισμός άρδευσης										
Αντλία	150				0,6	10000	0,55			3,58
Αυτοκ. Αρδευτής	800				0,6	10000	0,55			19,11
*Αγωγοί δικτύου μεταφοράς**	15				0,6	20000	0,10			0,13
Αγωγοί δικτύου εφαρμ. (Φ20)*	62,5				0,6	2000	0,20			7,46
Εξοπλισμός επεξεργασίας					**kg/h**			**MJ/kg**		
Πλατφόρμα μεταφοράς	900				10000	3000	0,80	0,0049	0,0022	0,007
Κοχλιωτός συμπιεστής (1,5kW)	45				16,77	10000	0,55			0,038

[1] *FE = Συντελεστή; Απόδοσης της εργασίας*

[2] *LT = Προβλεπόμενη διάρκεια οικονομικής ζωής [5]*

[3] E_{RMT} *= Ποσοστό της ενέργειας κατασκευής που αναλογεί για επισκευές και συντήρηση [3]*

* Για τους αγωγούς του δικτύου άρδευσης εκτιμήθηκε το βάρος ανά μονάδα στρέμματος

Πίνακας 2. Ενέργεια μεταβλητών στοιχείων των γεωργικών μηχανημάτων

	Έλξη (KN)	Ροπή στο PTO (kN*m)	Απορροφ. ενέργεια στην έλξη (MJ/στρ)	στο PTO	C_P	Ισο-δύναμη ενέργεια στο PTO (MJ/στρ)	Ειδική κατανά-λωση καυσίμου (L/kWh)	Ενέργεια καυσίμου (MJ/στρ)	Ενέργεια λιπαν-τικών (MJ/στρ)	Συνολική ενέργεια μεταβλητών στοιχείων (MJ/στρ)
Μηχανήματα κατεργασίας										
3 Άροτρο	26,09	0,00	21,74	0,00	0,53	42,18	0,42	222,06	8,88	230,95
4 Βαρύς καλλιεργητής	24,59	0,00	12,29	0,00	0,53	23,72	0,42	124,53	4,98	129,51
5 Εδαφοσχίστης	28,61	0,00	15,89	0,00	0,52	31,51	0,42	165,80	6,63	172,43
6 Περιστροφικός καλλιεργητής	5,70	0,84	2,28	18,52	0,49	26,47	0,42	139,86	5,59	145,46
7 Δισκοσβάρνα	5,95	0,00	1,98	0,00	0,41	5,15	0,51	33,35	1,33	34,69
8 Ελαφρύς καλλιεργητής	10,00	0,00	4,35	0,00	0,43	10,42	0,43	56,07	2,24	58,31
Λοιπά μηχανήματα										
9 Σπαρτική	1,38	0,04	0,46	0,38	0,40	2,01	0,81	20,58	0,82	21,40
12 Ψεκαστικό	0,00	0,04	0,00	0,07	0,00	0,60	0,75	5,72	0,23	5,95
13 Λιπασματοδιανομέας	0,00	0,08	0,00	0,18	0,00	0,84	0,68	7,17	0,29	7,46
14 Μηχανή συγκομιδής								56,74	2,27	59,01

C_P *= συντελεστής απόδοσης της ισοδύναμης στον δυναμοδότη ισχύος στην έλξη (από μετρήσεις του Εργαστηρίου)*

Πίνακας 3. Εισροές ενέργειας μέσω καλλιεργητικών επεμβάσεων

Μορφή Εισροής		Ποσότητα (kg/στρ)	Ενεργειακή περιεκτικότητα προϊόντος (MJ/kg)	Ενέργεια στο προιον (MJ/στρ)	Ενέργεια για την εφαρμογή (MJ/στρ)	Συνολική κατανάλωση ενέργειας (MJ/στρ)
Λίπανση	Άζωτο	2,75	76,6	211		219
	Φώσφορος	3,75	16,0	60	8,2	68
	Κάλιο	3,75	12,8	48		56
	ΣΥΝΟΛΟ			319		343
Σπορά	Carysol	0,77	26,3	20	26,1	46
	Frankasol	0,57	26,3	15		41
Ζιζανιοκτονία	Treflan	0,30	78,4	24	6,4	30
	Prometryne	0,25	158,9	40		46
	ΣΥΝΟΛΟ			63		76

Πίνακας 4. Κατάρτιση ενεργειακού ισοζυγίου για τις 4 μεταχειρίσεις

	Σ	ΒΚ	ΠΣ	Δ
Εισροές ενέργειας (MJ/στρ)				
1 κατεργασία	331	218	199	161
2 λίπανση		327		
3 σπορά		46		
4 ζιζανιοκτονία		70		
5 άρδευση		3.449		
6 συγκομιδή		123		
7 Μεταφορά	11	9	8	9
9 Επεξεργασία	478	393	361	378
σύνολο	4.835	4.635	4.583	4.562
Απόδοση καλλιέργειας (kg/στρ)				
1 Λάδι	136	109	102	108
2 Πίτα	269	215	203	214
Εκροές ενέργειας (MJ/στρ)				
1 Λάδι	5.341	4.276	4.031	4.239
2 Πίτα	5.274	4.222	3.980	4.186
σύνολο	10.615	8.498	8.011	8.426
Καθαρή ενέργεια (MJ)	5.780	3.863	3.428	3.864
Συντελεστής απόδοσης ενέργειας	2,20	1,83	1,75	1,85

Τα στοιχεία δείχνουν ένα θετικό ενεργειακό ισοζύγιο και για τις τέσσερις μεθόδους. Ο μέγιστος συντελεστής απόδοσης της ενέργειας παρατηρείται στη συμβατική κατεργασία (2,20) εξαιτίας της υψηλότερης παραγωγής. Την μεγαλύτερη συμμετοχή

στις εισροές ενέργειας είχε η άρδευση με ποσοστό στην συμβατική κατεργασία 71,3%, ακολουθεί η επεξεργασία με 9,9% και η λίπανση και κατεργασία του εδάφους με περίπου 6,7% η κάθε μια. Το υψηλό ποσοστό που κατέχει η άρδευση οφείλεται στην άντληση του νερού με γεώτρηση από βάθος 150 m. Αξίζει ωστόσο να σημειωθεί η μεγάλη διαφοροποίηση που θα έδινε στα αποτελέσματα η χρησιμοποίηση επιφανειακού νερού (π.χ. από ένα αρδευτικό κανάλι). Στην περίπτωση αυτή για την ίδια δόση άρδευσης θα απαιτούνταν 612 MJ/στρ (μείωση κατά 40,5% των συνολικών εισροών) ενώ ο συντελεστής απόδοσης της ενέργειας θα ήταν ίσος με 5,14 στην συμβατική κατεργασία δείχνοντας ένα πολύ υψηλό ποσοστό επιστροφής ενέργειας από το σύστημα παραγωγής.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η καλλιέργεια ηλίανθου για παραγωγή βιοκαυσίμου είναι δυνατή καθότι το ενεργειακό ισοζύγιο προκύπτει θετικό. Η προσπάθεια μείωσης των εισροών διαμέσου της κατεργασίας του εδάφους δεν φαίνεται να δίνει σημαντικά πλεονεκτήματα 1) εξαιτίας της μικρής συμμετοχής της στο σύνολο των εισροών και 2) εξαιτίας της μειωμένης απόδοσης της καλλιέργειας. Αντί αυτού, η ορθολογική χρήση του νερού και η προσπάθεια εξεύρεσης λιγότερο ενεργοβόρων μεθόδων για την άρδευση μπορεί να αυξήσει θεαματικά την ενεργειακή αποδοτικότητα του συστήματος παραγωγής.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Eden Th. U. and Reinhardt, G. A. (1994). Environmental implications of biofuel use. An assessment. Biomass and Energy Environment Agriculture and Industry, Proceedings of the 8th European Biomass Conference, Vienna 1994. pp 1141-48.
2. Kalivrousis, L Natsis, A. and Papadakis G. (2002). The Energy balance of sunflower production for biodiesel in Greece. Biosystems Engineering (2002) 81 347-354
3. Bowers W. (1992). Agricultural field equipment. In: R.C. Fluck (Editor), Energy in Farm Production. Energy in world agriculture, 6. Elsevier, pp.117-129..
4. Papathanasiou, I., Cavalaris, C., Karamoutis, C. and Gemtos (2002). Design, construction and testing of an instrumented tractor to measure forces on agricultural implements and energy consumption during field work. Proc. of the 1st Conference of Hellenic Association of ICT in Agriculture, Food and Enviroment pp 144-53.
5. ASAE Standard D497.4. Agricultural machinery management data. American Society of Agricultural Engineers. St. Joseph Michigan.
6. Helsel, R.Z. (1992). Energy and alternatives for fertilizer and pesticide use. In: R.C. Fluck (Editor), Energy in Farm Production. Energy in world agriculture, 6. Elsevier, pp.177-201.
7. Sloggett, G. (1992). Estimating energy use in world irrigation. In: R.C. Fluck (Editor), Energy in Farm Production. Energy in world agriculture, 6. pp.203-217
8. Leach, G. (1976). Energy and food production. IPC Press Limited, England.
9. Fluck, R.C. (1992). Energy conservation in agricultural transportation In: R.C. Fluck (Editor), Energy in Farm Production. Energy in world agriculture, 6. Elsevier, Amsterdam, pp.171-176.

(198)

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΜΙΓΜΑΤΩΝ ΗΛΙΕΛΑΙΟΥ ΜΕ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟ ΣΕ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕ ΤΟ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟ ΩΣ ΚΑΥΣΙΜΩΝ ΣΕ ΚΙΝΗΤΗΡΑ ΑΝΑΦΛΕΞΗΣ ΣΥΜΠΙΕΣΗΣ

Α. Μπαλαφούτης[1α], Δ. Μελάς[1β], Α. Νάτσης[1γ], Α. Παπαγιαννοπούλου[2] και Γ. Παπαδάκης[1δ]

[1] Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών πόρων & Γεωργικής Μηχανικής, Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας, Ιερα Οδός 75, 11855, Αθήνα, [α]abalafoutis@aua.gr, [β]dmelas@aua.gr, [γ]lmac2naa@aua.gr, [δ]gpap@aua.gr

[2] Ινστιτούτο Γεωργικών Μηχανών & Κατασκευών, Δημοκρατίας 61, 13510, Αγ. Ανάργυροι, Αθήνα, iamc@ath.forthnet.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της εργασίας ήταν η δοκιμή μιγμάτων ακατέργαστου ηλιελαίου με πετρέλαιο σε αναλογία κατ' όγκο 20/80, 40/60, 70/30 και αμιγούς ηλιελαίου σε κινητήρα diesel ως προς την απόδοση του και τις αντίστοιχες εκπομπές αερίων. Παρατηρήθηκε αύξηση ισχύος και ροπής με παράλληλη αύξηση της ειδικής κατανάλωσης καυσίμου και των αντίστοιχων αέριων ρύπων (NO_x και CO_2) όσο αυξάνονταν το ποσοστό ηλιελαίου στο καύσιμο. Προώθηση του χρονισμού ψεκασμού κατά 2°CA προκάλεσε αύξηση απόδοσης με παράλληλη μείωση ειδικής κατανάλωσης καυσίμου. Τα NO_x αυξήθηκαν αρκετά, ενώ το CO_2 αυξήθηκε αλλά όχι σημαντικά.

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF SUNFLOWER OIL BLENDS WITH DIESEL USE AS FUELS IN A COMPRESSION IGNITION ENGINE

A. Balafoutis[1a], D. Melas[1b], A. Natsis[1c], A. Papagiannopoulou[2] and G. Papadakis[1d]

[1] Agricultural University of Athens, Department of Natural Resources & Agricultural Engineering, Laboratory of Agricultural Machinery, Iera Odos 75, 11855, Athens.

[2] Institute of Agricultural Machinery & Constructions, Dimokratias 61, 13510, Ag. Anargiri, Athens, iamc@ath.forthnet.gr

ABSTRACT

The objective of this paper was testing blends of crude sunflower oil with conventional diesel in proportions by volume of 20/80, 40/60, 70/30 and pure oil in a diesel engine in terms of engine performance and respective gas emissions. An increment of engine power and torque with a parallel increase in brake specific fuel consumption (BSFC) and in gas emissions (NO_x and CO_2) were indicated as the sunflower oil percentage was increased. Advancing injection timing by 2°CA caused increased engine performance with reduced BSFC. NO_x were enhanced rapidly, when CO_2 was enlarged, but not widely.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η μείωση των αποθεμάτων πετρελαίου και οι περιβαλλοντικές ανησυχίες, που επιδεινώνονται συνεχώς, μπορούν να αντιμετωπισθούν μερικών από τις εναλλακτικές μορφές ενέργειας. Τα βιοκαύσιμα θα μπορούσαν να συμβάλλουν σε αυτό το σκοπό ως πηγή ενέργειας στο τομέα των μεταφορών.

Ελπιδοφόρα καύσιμα για κινητήρες diesel, εκτός του καθιερωμένου πια βιοντίζελ, αποτελούν τα ακατέργαστα φυτικά έλαια, που είναι λιγότερο αρωματικά, έχουν μηδενικό θείο και περιέχουν οξυγόνο και σε σύγκριση με το βιοντίζελ έχουν σημαντικά μειωμένο κόστος παραγωγής.

Τα φυτικά έλαια έχουν παρόμοιες φυσικές και χημικές ιδιότητες με το πετρέλαιο. Βάσει προηγούμενων ερευνών [1,2], τα ακατέργαστα φυτικά έλαια όταν χρησιμοποιούνται σε κινητήρες diesel σε βραχυχρόνιες δοκιμές δεν επιφέρουν προβλήματα, ενώ μακροχρόνια χρήση έδειξε προβλήματα που σχετίζονται με αποθέσεις άνθρακα στους εγχυτήρες με αποτέλεσμα φτωχό διαμερισμό του καυσίμου και διάλυση του ελαίου λίπανσης, αποθέσεις στον κύλινδρο και εναπόθεση κολλώδων ουσιών στα ελατήρια των εμβόλων.

Αυτές οι επιπτώσεις οφείλονται κυρίως στο υψηλό ιξώδες και τη χαμηλή πτητικότητα των φυτικών ελαίων. Για την αποφυγή τέτοιων συνεπειών, υπάρχουν οι εξής μέθοδοι μείωσης του ιξώδους των φυτικών ελαίων· ανάμιξη με πετρέλαιο, προθέρμανση, μετεστεροποίηση και θερμική διάσπαση [3,4].

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1. Χαρακτηρισμός

Στη συγκεκριμένη έρευνα, επιλέχθηκε το ηλιέλαιο ως πιθανή εναλλακτική πηγή παραγωγής καυσίμων για χρήση σε κινητήρες diesel. Οι βασικές ιδιότητες του ηλιελαίου σε σύγκριση με το πετρέλαιο φαίνεται στον Πίνακα 1 [4].

Είναι φανερό ότι το ιξώδες είναι αυτό που διαφοροποιείται περισσότερο από όλες τις ιδιότητες. Έτσι, επιβάλλεται η μείωση του σε ανεκτά επίπεδα με τη δημιουργία μιγμάτων με πετρέλαιο και με προθέρμανση του τελικού καυσίμου.

Πίνακας 13 Ιδιότητες καυσίμου πετρελαίου και ηλιελαίου

Τύπος Καυσίμου	Θερμογόνος Δύναμη (kJ/kg)	Πυκνότητα στους 27°C (kg/m^3)	Ιξώδες στους 27°C (mm^2/s)	Αριθμός κετανίου
Diesel fuel	43.350	815	4.3	47.0
Sunflower oil	39.525	918	58.5	37.1

2.2. Πειραματική διάταξη

Επιλέχθηκε κινητήρας diesel γεωργικού ελκυστήρα, ο οποίος συνδέθηκε σε υδραυλικό δυναμόμετρο. Το φορτίο στο δυναμόμετρο μετράται με αισθητήρα φορτίου με μεταδότη πιέσεως, η ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα με αισθητήρα εγγύτητας, ενώ η κατανάλωση καυσίμου μετράται με ογκομετρικό κύλινδρο και χρονόμετρο.

Κατά τη διάρκεια των μετρήσεων καταγράφονται οι θερμοκρασίες στους κυλίνδρους, στο υγρό ψύξης, στο φίλτρο αέρος, στην εξάτμιση, στην πολλαπλή εισαγωγής αέρα, στην γραμμή του καυσίμου και στο δοχείο ελαίου λίπανσης. Επίσης καταγράφονταν οι πιέσεις στην πολλαπλή εισαγωγής αέρα, στην πολλαπλή εξαγωγής καυσαερίων και στην γραμμή καυσίμου με χρήση μετατροπέων πίεσης. Τέλος, η ροή

αέρος πριν το φίλτρο αέρος καταχωρίζεται με έναν αισθητήρα διαφοράς θερμοκρασίας. Οι ενδείξεις των θερμοζευγών καταγράφονται από ένα καταγραφέα θερμοκρασιών, ενώ οι μετρητές πίεσης και ροής καταγράφονται από ένα γενικό καταγραφέα. Οι αέριοι ρύποι μετρώνται από φορητό αναλυτή καυσαερίων.

Εγκαταστάθηκε συσκευή προθέρμανσης καυσίμου. Η συσκευή αυτή έχει ως βάση λειτουργίας έναν εναλλάκτη θερμότητας, μέσα από τον οποίο διαρρέουν παράλληλα το ψυκτικό υγρό του κινητήρα και το καύσιμο υπό δοκιμή. Όταν ο κινητήρας βρίσκεται σε κανονική λειτουργία, η θερμοκρασία του ψυκτικού υγρού μεταβιβάζεται στο δοκιμαζόμενο καύσιμο. Μέχρι την επίτευξη της θερμοκρασίας λειτουργίας, χρησιμοποιείται πετρέλαιο, ενώ αμέσως μετά με τη βοήθεια μιας τριοδικής βαλβίδας γίνεται η αλλαγή στο εναλλακτικό καύσιμο.

2.3. Πειραματική Μεθοδολογία

Έγιναν πειράματα αρχικά με καθαρό πετρέλαιο, μετά με τρία μίγματα ηλιελαίου/πετρελαίου σε αναλογίες 20/80, 40/60 and 70/30 και τελικά με αμιγές ηλιέλαιο. Τα μίγματα και το αμιγές ηλιέλαιο προθερμαίνονταν πριν την χρήση τους, ενώ το πετρέλαιο εισάγονταν στην αντλία καυσίμου στη θερμοκρασία περιβάλλοντος. Τα μίγματα ανακινούνταν και παρέμεναν συνεχώς σε σταθερή κατάσταση.

Η έναρξη του κινητήρα γίνονταν πάντα με πετρέλαιο. Ο κινητήρας έφτανε τις μέγιστες στροφές και λειτουργούσε εκεί για 30 λεπτά. Μετά άλλαζε στο επιλεγμένο εναλλακτικό καύσιμο. Χρησιμοποιήθηκε η διαδικασία που προτείνει ο OECD για την δοκιμή κινητήρων γεωργικών ελκυστήρων. Σε κάθε σημείο γίνονταν καταγραφή της ισχύος, ροπής, κατανάλωσης καυσίμου, θερμοκρασιών και πιέσεων σε διάφορα σημεία του κινητήρα, αερίων ρύπων, ατμοσφαιρικής πίεσης και θερμοκρασίας. Οι μετρήσεις αυτές παίρνονταν αφού σταθεροποιούνταν η λειτουργία του κινητήρα. Κάθε παράμετρος καταγράφονταν ταυτόχρονα τρεις φορές. Μετά το τέλος των μετρήσεων, το καύσιμο άλλαζε σε πετρέλαιο για τον καθαρισμό του δικτύου καυσίμου, αλλά και των μερών του κινητήρα από τα υπολείμματα ελαίου.

Η πρώτη σειρά μετρήσεων ολοκληρώθηκε με τον χρονισμό έγχυσης του κατασκευαστή. Όμως, θεωρήθηκε σημαντικό να διενεργηθούν δοκιμές με προοδευμένο χρονισμό έγχυσης, διότι ίσως να έδινε καλύτερα αποτελέσματα, λόγω της μακρύτερης περιόδου υστέρησης και του πιο αργού ρυθμού καύσης των φυτικών ελαίων από το πετρέλαιο που προκαλεί καθυστερημένη καύση μέσα στο χρόνο εκτόνωσης [8]. Έτσι, επιλέχθηκε να γίνει δεύτερη σειρά πειραμάτων με πρόοδο χρονισμού έγχυσης κατά 2°CA από αυτόν του κατασκευαστή.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

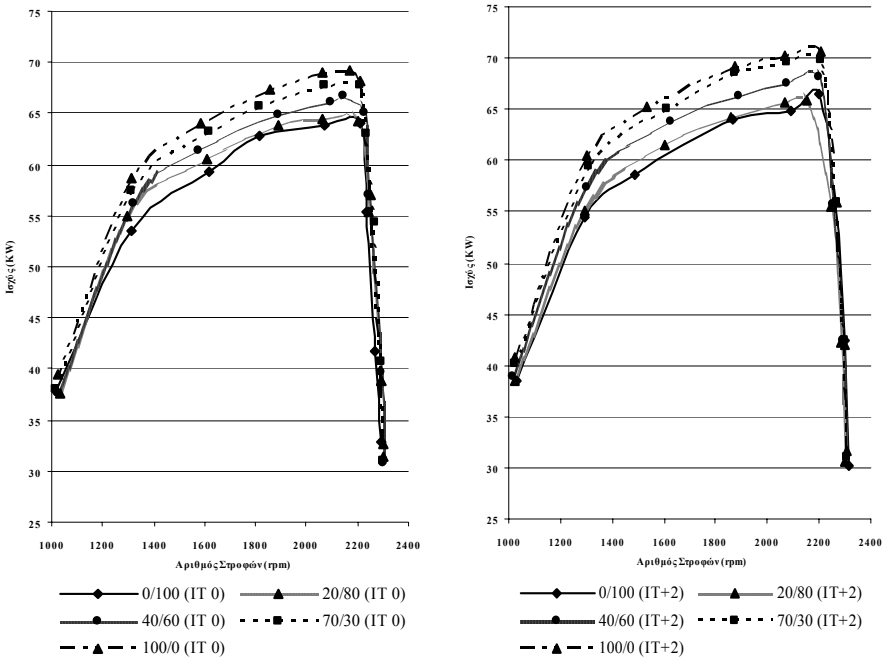
3.1. Απόδοση Κινητήρα

Προκαταρτικές μετρήσεις [7], με τον ίδιο κινητήρα, όπου επιλέχθηκαν ένα μίγμα ηλιελαίου/πετρελαίου με αναλογία 20/80 και αμιγές ηλιέλαιο, έδειξαν ότι η ισχύς και η ροπή του κινητήρα αυξήθηκαν και στις δύο περιπτώσεις σε σχέση με το πετρέλαιο. Επίσης, εντοπίστηκε μια αύξηση της ειδικής κατανάλωσης καυσίμου και με τα δύο καύσιμα και ιδιαίτερα με το αμιγές ηλιέλαιο. Η παρούσα μελέτη έρχεται σε συνέχεια αυτών των μετρήσεων με μεγαλύτερο εύρος μιγμάτων ηλιελαίου/πετρελαίου.

3.1.1. Ισχύς Κινητήρα

Η ισχύς του κινητήρα με όλα τα καύσιμα υπό δοκιμή στους δύο χρονισμούς ψεκασμού δίνεται στο Σχήμα 1. Είναι φανερή η αντιστοιχία των δυο χρονισμών με τις προκαταρτικές μετρήσεις. Αυξάνοντας το ποσοστό ηλιελαίου στο μίγμα, έχουμε βελτίωση της ισχύος σχεδόν σε όλο το φάσμα στροφών κινητήρα και στους δύο

χρονισμούς. Στις υψηλές ταχύτητες περιστροφής τα εναλλακτικά καύσιμα έχουν τάση για μείωση της παραγόμενης ισχύος.



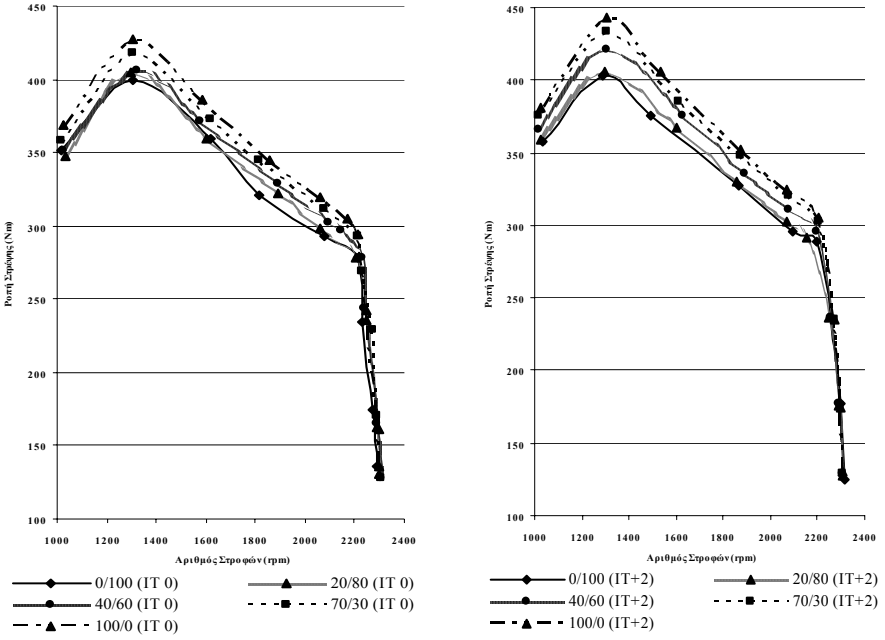
Σχήμα 10 Ισχύς κινητήρα σε όλο το εύρος των στροφών του κινητήρα. (α) χρονισμός κατασκευαστή (β) προοδευμένος χρονισμός (+2°CA)

Αυτό θα μπορούσε να εξηγηθεί από το γεγονός ότι τα καύσιμα που περιέχουν φυτικά έλαια χρειάζονται περισσότερο χρόνο για την επίτευξη ολοκληρωμένης καύσης που δεν είναι διαθέσιμος σε μεγάλες ταχύτητες περιστροφής [8].

Στην περίπτωση προοδευμένου χρονισμού, εκτός από την βελτίωση της ισχύος με την αύξηση του ηλιελαίου στο καύσιμο, παρατηρήθηκε επίσης μια αύξηση της αποδιδόμενης ισχύος σε όλα τα μίγματα σε σύγκριση με την παραγόμενη ισχύ με το αντίστοιχο μίγμα με τον χρονισμό του κατασκευαστή. Επίσης, τα καύσιμα 70/30 και 100/0 με +2°CA είχαν σχεδόν μηδενική διαφορά παραγόμενης ισχύος από το πετρέλαιο στις υψηλές ταχύτητες περιστροφής, που δείχνει ότι η πρόοδος του χρονισμού ευνοεί τα καύσιμα με υψηλά ποσοστά φυτικών ελαίων. Αυτό επιβεβαιώνει ότι επιβάλλεται η αύξηση του διαθέσιμου χρόνου για καύση των βασισμένων σε ηλιέλαιο καυσίμων.

3.1.2. Ροπή Κινητήρα

Η ροπή στρέψης του κινητήρα ακολουθεί την ίδια τάση με την αποδιδόμενη ισχύ, αφού τα δύο μεγέθη είναι άμεσα συνδεδεμένα. Η διαφοροποίηση της αποδιδόμενης ροπής για τα δοκιμαζόμενα καύσιμα στους δύο επιλεγμένους χρονισμούς ψεκασμού φαίνονται στο Σχήμα 2. Είναι εμφανές ότι η ροπή στρέψης του κινητήρα αυξάνεται με την προσθήκη ηλιελαίου στο καύσιμο και στις δύο περιπτώσεις χρονισμού, αλλά η διαφορά του καυσίμου αναφοράς από τα εναλλακτικά καύσιμα παρουσιάζεται μεγαλύτερη στην περίπτωση του προοδευμένου χρονισμού, που είναι μια ακόμη ένδειξη ότι χρειάζεται περισσότερος χρόνος για την καύση των φυτικών ελαίων.



Σχήμα 11 Ροπή κινητήρα σε όλο το εύρος των στροφών του κινητήρα

3.1.3. Ειδική Κατανάλωση Καυσίμου Κινητήρα

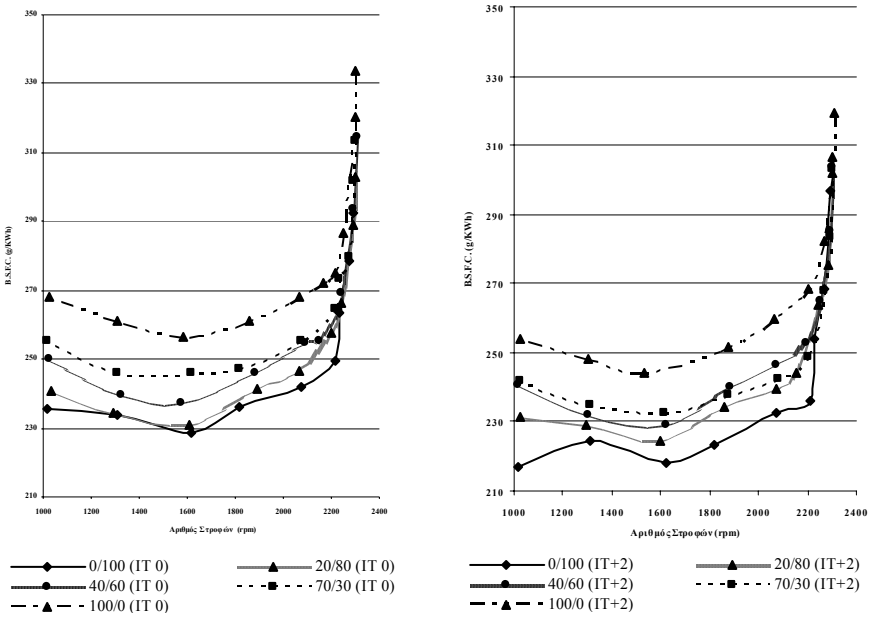
Κατά τις προκαταρτικές δοκιμές είδαμε σημαντική αύξηση στην ειδική κατανάλωση καυσίμου όσο το ποσοστό ηλιελαίου αυξάνει στο μίγμα καυσίμου [7]. Η ειδική κατανάλωση με όλα τα καύσιμα με τους δύο χρονισμούς φαίνεται στο Σχήμα 3. Είναι εμφανές ότι η ίδια τάση με τις προκαταρτικές δοκιμές υπάρχει και εδώ.

Στο χρονισμό κατασκευαστή το μίγμα 20/80 παρουσιάζει ελάχιστα μεγαλύτερη κατανάλωση σε όλο το εύρος του κινητήρα, εκτός από την μέγιστη ισχύ όπου η διαφορά μεγαλώνει αισθητά. Ανάμιξη μεγαλύτερη του 40% δίνει σημαντική διαφορά από το πετρέλαιο. Είναι σημαντικό να αναφέρουμε ότι με +2°CA η κατανάλωση με όλα τα καύσιμα μειώθηκε και μάλιστα σημαντικά. Αυτή η μείωση δεν αναμένονταν, διότι σε αντίστοιχη έρευνα στο παρελθόν είχε εμφανισθεί αύξηση της ειδικής κατανάλωσης [8]. Το γεγονός αυτό ίσως οφείλεται στο ότι ο συγκεκριμένος κινητήρας δίνει καλύτερα αποτελέσματα σε αυτό τον χρονισμό, που για λόγους περιβαλλοντικούς, δεν επιλέχθηκε από τον κατασκευαστή.

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η αυξημένη ισχύς και ροπή οφείλονται κυρίως στην αυξημένη πυκνότητα των βασισμένων σε ηλιέλαιο καυσίμων, λόγω της αυξημένης πυκνότητας του ηλιελαίου. Η αντλία καυσίμου λειτουργεί ογκομετρικά. Έτσι, συγκεκριμένος όγκος καυσίμου διανέμεται στους εγχυτήρες. Όποτε, τα αποτελέσματα της μελέτης αυτής δείχνουν λογικά, διότι για τον ίδιο όγκο εκτοξευόμενου καυσίμου, μεγαλύτερη μάζα καυσίμου καταλήγει στο θάλαμο καύσης. Η πυκνότητα του ηλιελαίου ήταν περίπου 12.63% μεγαλύτερη από το πετρέλαιο, γεγονός που επιδρά στην αύξηση της τελικής πυκνότητας όλων των μιγμάτων σε σχέση με το πετρέλαιο.

Παρόλο που η θερμογόνος δύναμη του ηλιελαίου είναι 8.82% χαμηλότερη από αυτή του πετρελαίου και το αναμενόμενο αποτέλεσμα θα ήταν μια μικρή μείωση ισχύος και ροπής, το αντίθετο συνέβη. Έτσι, σε συνδυασμό με την δεδομένη περιεκτικότητα του ηλιελαίου σε οξυγόνο, που προωθεί την καύση των υδρογονανθράκων του, μπορεί να

δικαιολογηθεί η βελτιωμένη λειτουργία του κινητήρα [5]. Επίσης, το μεγαλύτερο ιξώδες των μιγμάτων με ηλιέλαιο μειώνεις τις εσωτερικές διαρροές, που οδηγεί σε μέγιστη χρήση του εκτοξευόμενου καυσίμου [6].



Σχήμα 12 Ειδική κατανάλωση καυσίμου σε όλο το εύρος των στροφών του κινητήρα

3.2. Εκπομπές αέριων ρύπων

Η προαναφερθείσα βελτίωση της απόδοσης του κινητήρα έμενε να εξεταστεί από τη μεριά των εκπεμπόμενων καυσαερίων. Εξετάστηκαν οι εκπομπές NO_x και CO_2.

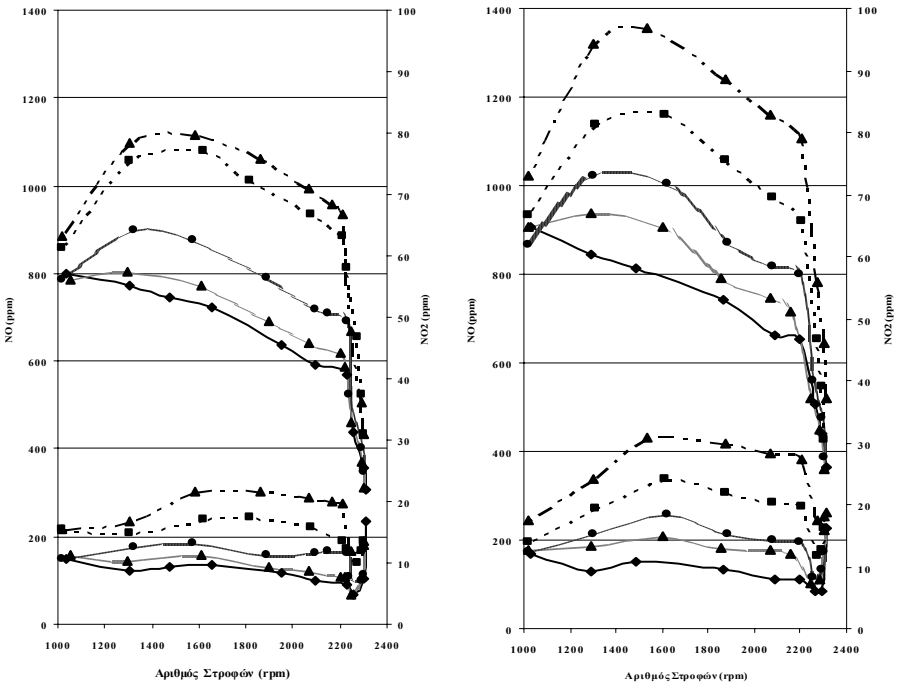
Παρατηρήθηκε σημαντική διαφοροποίηση των εκπομπών NO_2 και NO με το χρονισμό του κατασκευαστή (Σχήμα 4), Είναι εμφανές ότι η αύξηση του περιεχομένου σε ηλιέλαιο στο καύσιμο επέφερε ακραία αύξηση των αερίων αυτών. Η αύξηση αυτή δείχνει να είναι αναλογική με την αύξηση του ηλιελαίου στην περίπτωση του NO_2. Οι εκπομπές NO είχαν την ίδια τάση, αλλά το μίγμα 70/30 και το αμιγές ηλιέλαιο είχαν πολύ μικρή διαφορά μεταξύ τους. Η αύξηση των NO_x γενικά μπορεί να εξηγηθεί από την αύξηση της θερμοκρασίας καύσης με τα εναλλακτικά καύσιμα, που είναι ο σημαντικότερος παράγοντας αύξησης των οξειδίων του αζώτου.

Η πρόοδος του χρονισμού έγχυσης, μπορεί να αύξησε την απόδοση του κινητήρα, αλλά η διαφορά την εκπομπή NO_x ήταν σημαντική και ίσως απαγορευτική.

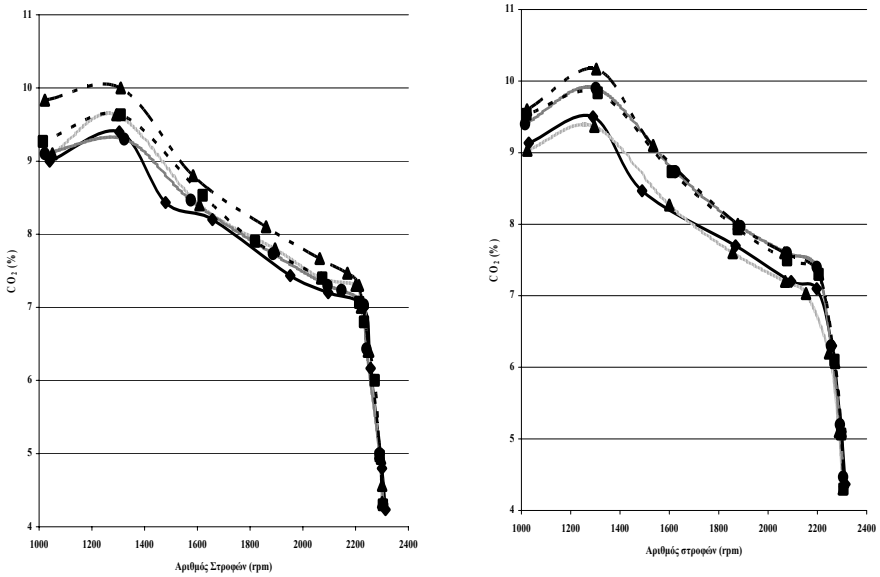
Τα επίπεδα CO_2 φαίνονται στο Σχήμα 5. Με τον χρονισμό κατασκευαστή, το διοξείδιο του άνθρακα αυξήθηκε με την αύξηση του ηλιελαίου στο καύσιμο. Όμως, τα καύσιμα 20/80 και 40/60 ήταν πολύ κοντά στο πετρέλαιο, γεγονός που δεν εμφανίστηκε με το μίγμα 70/30 και το αμιγές ηλιέλαιο, όπου η διαφορά ήταν σημαντική. Η ίδια τάση εμφανίστηκε με την πρόοδο του χρονισμού, με τη διαφορά ότι μόνο το μίγμα 20/80 ήταν κοντά στο πετρέλαιο.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα μελέτη, φάνηκε αναλυτικά ότι ενδεχόμενη αύξηση του ποσοστού



Χρονισμός Κατασκευαστή Προοδευμένος Χρονισμός (+2°CA)
Σχήμα 13 Εκπομπές NO, NO_2 σε όλο το εύρος των στροφών του κινητήρα



Χρονισμός Κατασκευαστή Προοδευμένος Χρονισμός (+2°CA)
Σχήμα 14 Εκπομπές CO_2 σε όλο το εύρος των στροφών του κινητήρα

ηλιελαίου στο καύσιμο μίγμα προκαλεί αύξηση της παραγόμενης ισχύος και ροπής του κινητήρα με παράλληλη αύξηση των εκπομπών NO_x και CO_2.

Επίσης, φάνηκε ότι για το ίδιο καύσιμο, η ισχύς και η ροπή του κινητήρα αυξήθηκαν με την πρόοδο του χρονισμού. Επίσης, η διαφορά των εναλλακτικών καυσίμων από το πετρέλαιο ήταν μεγαλύτερη με τον προοδευμένο χρονισμό, γεγονός που αποτελεί ένδειξη ότι η λειτουργία του κινητήρα με καύσιμα βασισμένα σε ηλιέλαιο είναι καλύτερη όταν δίνεται περισσότερος χρόνος για την ολοκλήρωση της καύσης των εναλλακτικών αυτών καυσίμων.

Η ειδική κατανάλωση καυσίμου αυξήθηκε όσο το περιεχόμενο ηλιελαίου στο καύσιμο αυξάνονταν. Ένα επίσης σημαντικό αποτέλεσμα ήταν ότι η ειδική κατανάλωση με τον προοδευμένο χρονισμό έγχυσης είχε μείωση για όλα τα δοκιμασμένα καύσιμα σε σύγκριση με το χρονισμό του κατασκευαστή. Αυτό το αποτέλεσμα θα πρέπει να διερευνηθεί περαιτέρω.

Από περιβαλλοντικής άποψης, η εκπομπές NO_x αυξήθηκαν σημαντικά, λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας καύσης εντός του κυλίνδρου, που είναι ο κυριότερος λόγος αύξησης των οξειδίων του αζώτου. Όσο για την εκπομπή CO_2, δεν παρατηρήθηκε σημαντική αύξηση.

Συνοψίζοντας, μπορεί να ειπωθεί ότι η βραχυχρόνια χρήση προθερμασμένων μιγμάτων ηλιελαίου με πετρέλαιο μέχρι και αμιγούς ηλιελαίου έδειξε θετικές ενδείξεις για περαιτέρω μελέτη αυτών των εναλλακτικών καυσίμων. Όμως, οι βραχυχρόνιες δοκιμές δεν είναι αρκετές για να παραχθούν ασφαλή συμπεράσματα για την χρήση αυτών των καυσίμων. Δοκιμές διαρκείας επιβάλλονται για αυτό το ζήτημα. Σημαντικό πρόβλημα αποτελούν οι αυξημένες εκπομπές καυσαερίων, που πρέπει να διερευνηθούν εκτενέστερα.

Υπάρχει κατάλληλος χρονισμός έγχυσης για κάθε εναλλακτικό καύσιμο για την καλύτερη απόδοση του κινητήρα, σύμφωνα με την περίοδο υστέρησης του [8]. Όμως, πρέπει να λαμβάνονται πάντα υπόψη οι εκπομπές καυσαερίων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Zejewski M, Goettler H, Pratt GL. Influence of vegetable oil based alternative fuels on residue deposits and components wear in a diesel engine. SAE 1986;860302:297-307
2. Nwafor OMI, Rise G. Performance of rapeseed oil blends in diesel engines. Journal of Applied Energy 1996;64(4):p.
3. Geottler HJM, Ziejewski M, Knudson AM. Performance of a diesel engine operating on blends of diesel fuel and crude sunflower oil at normal and elevated fuel temperature. SAE. 852087, 1985
4. Ramadhas AS, Jayaraj S, Muraleedharan C. Use of vegetable oils as I.C. engine fuels-A review. Renew Energy 2004;29:727-42
5. Kalam MA, Husnawan M, Masjuki HH. Exhaust emission and combustion evaluation of coconut oil-powered indirect injection diesel engine. Renew Energy 2003;28:2405-15
6. Wagner L, Clark S, Schrock M. Effect of soybeen oil esters on the performance, lubricating oil, and wear of diesel engines. SAE, 841385, Warrendale,PA,1984
7. Balafoutis A, Melas D, Natsis A, Papagiannopoulou A, Papadakis G, Experimental investigation on the use of sunflower crude oil as fuel in a compression ignition engine, Proceedings of the World Congress 2006, Bonn, Germany, 3-7 September 2006
8. Nwafor OMI, G. Rice, Ogbonna AI, Effect of advaced injection timing on the performance of rapeseed oil in diesel engines. Renewable energy 2000;21:433-444

(213)

ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ ΑΠΟ ΛΥΜΑΤΑ ΧΟΙΡΩΝ ΣΕ ΔΥΟ ΣΕ ΣΕΙΡΑ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΕΣ CSTR ΣΤΗ ΜΕΣΟΦΙΛΗ ΚΑΙ ΥΠΕΡΘΕΡΜΟΦΙΛΗ ΖΩΝΗ

Ι. Φωτίδης, Ν. Τσολάκης, Θ. Κωτσόπουλος και Γ. Γ. Μαρτζόπουλος
Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Γεωπονική Σχολή, Εργαστήριο Εναλλακτικών Ενεργειακών Πόρων στη Γεωργία. Τ.Κ. 54124, e-mail: ifotidis@agro.auth.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία, διερευνήθηκε η δυνατότητα παραγωγής βιοαερίου σε ένα σύστημα συνεχούς ροής και πλήρους ανάμιξης, για την επεξεργασία λυμάτων χοιροστασίου σε αναερόβιες συνθήκες. Το σύστημα περιλάμβανε σε σειρά, δύο CSTR αντιδραστήρες (R_1, R_2), οι οποίοι λειτουργούσαν στη μεσόφιλη (35^oC) και υπερθερμόφιλη (70^oC) ζώνη αντίστοιχα. Ο αντιδραστήρας R_1 παρήγαγε μεθάνιο, ενώ ο αντιδραστήρας R_2 μετά από λειτουργία 4 ημερών ξεκίνησε να παράγει υδρογόνο με ικανοποιητική απόδοση. Η έρευνα αυτή δείχνει ότι το σύστημα αυτό είναι ένα πολλά υποσχόμενο σύστημα για την παραγωγή υδρογόνου.

BIOGAS PRODUCTION FROM PIG SLURRY IN TWO CSTR REACTORS IN MESOPHILIC AND HYPER-THERMOPHILIC AREA

I. Fotidis, N. Tsolakis, T.A. Kotsopoulos and G. G. Martzopoulos
Aristotle University of Thessaloniki, Sch. of Agriculture, Lab. Of Renewable Energy Sources in Agriculture, 54124, Thessaloniki, e-mail: ifotidis@agro.auth.gr

ABSTRACT

The biogas production from pig slurry was investigated with the use of a continuous flow and complete mixture system, under anaerobic conditions. The system included, two CSTR reactors (R_1, R_2), which functioned in mesophilic (35^oC) and hyper-thermophilic (70^oC) area respectively. Reactor R_1 produced methane, while reactor R_2 after 4 days, began to produce hydrogen with satisfactory performance. This research shows that this system it's a promising system for biohydrogen production.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ανάγκη εύρεσης εναλλακτικών μορφών ενέργειας ικανών να αντικαταστήσουν τα ορυκτά καύσιμα και παράλληλα η ανάγκη να μειωθούν οι εκπομπές CO_2 στην ατμόσφαιρα, έδωσε ώθηση στην έρευνα για παραγωγή υδρογόνου. Οι βιολογικές μέθοδοι για την παραγωγή υδρογόνου από οργανικά απόβλητα είναι η αναερόβια ζύμωση και η φωτοσύνθεση [1]. Η φωτοσύνθεση δεν θεωρείται κατάλληλη για οργανικά λύματα των οποίων τα ολικά στερεά είναι σχετικά υψηλά, επειδή απαιτούνται μεγάλα ποσά ενέργειας για τη διείσδυση του απαραίτητου φωτός και την ανάπτυξη των φωτοσυνθετικών οργανισμών. Αντίθετα, η αναερόβια ζύμωση δίνει μεγαλύτερη παραγωγή υδρογόνου και μειώνει ικανοποιητικά το ρυπαντικό φορτίο των λυμάτων. Επομένως, η παραγωγή του υδρογόνου μέσω αναερόβιας ζύμωσης από τα ζωικά λύματα φαίνεται να υπερτερεί.

Έως τώρα, οι έρευνες για την αναερόβια παραγωγή του υδρογόνου έχουν στραφεί στις μεσόφιλες και στις θερμόφιλες συνθήκες και εστιάζονται κυρίως στην παραγωγή του από οικιακά και τεχνητά λύματα. Προσφάτως η παραγωγή του υδρογόνου σε υπερθερμόφιλες συνθήκες, στους 70°C, άρχισε να προσελκύει το ενδιαφέρον των ερευνητών λόγω των συγκριτικών πλεονεκτημάτων της. Η αποτελεσματικότερη καταστροφή των παθογόνων οργανισμών, η μεγαλύτερη παραγωγή υδρογόνου καθώς και η ανασταλτική της δράση στην ανάπτυξη των μεθανογενών βακτηρίων είναι τα κύρια πλεονεκτήματα της υπερθερμόφιλης αναερόβιας διαδικασίας [2]. Επιπρόσθετα η Ευρωπαϊκή Ένωση δείχνει ενδιαφέρον για την καταστροφή των παθογόνων οργανισμών που βρίσκονται στα ζωικά λύματα πριν τη διασπορά τους στο έδαφος. Η κοινοτική οδηγία 2002/1774/ΕC επιβάλλει την παραμονή των ζωικών λυμάτων για μία ώρα στους 70°C πριν τη διασπορά τους στο έδαφος [3].

Οι δημοσιευμένες, μέχρι σήμερα ερευνητικές εργασίες σχετικές με τη χρήση ζωικών λυμάτων για την παραγωγή υδρογόνου [4,5] είναι πολύ λίγες. Αυτό οφείλεται στο ότι το υδρογόνο, που παράγεται κατά την διάρκεια της αναερόβιας επεξεργασίας των ζωικών λυμάτων, καταναλώνεται άμεσα από τα μεθανογενή βακτήρια και παράγεται μεθάνιο [6]. Τα ζωικά λύματα είναι το πιο κατάλληλο υπόστρωμα για παραγωγή μεθανίου.

Στην παρούσα έρευνα γίνεται προσπάθεια για παραγωγή υδρογόνου στους 70°C από λύματα χοίρων σε ένα σύστημα το οποίο περιλαμβάνει δύο εν σειρά αντιδραστήρες οι οποίοι λειτουργούν σε διαφορετικές θερμοκρασίες. Ο ένας από τους δύο αντιδραστήρες λειτουργεί για παραγωγή μεθανίου και ο δεύτερος δυνητικά για παραγωγή υδρογόνου. Επίσης διερευνάται η διαδικασία της αναερόβιας αποικοδόμησης στο παρόν σύστημα, το οποίο ουσιαστικά λειτουργεί σύμφωνα με την κοινοτική οδηγία, εφόσον τα λύματα παραμένουν στον έναν αντιδραστήρα για 24h στους 70°C.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1 Απόβλητα χοίρων

Τα λύματα συλλέχθηκαν από χοιροστάσιο του δήμου Βασιλικών, που βρίσκεται κοντά στο εργαστήριο του αγροκτήματος της Γεωπονικής Σχολής του ΑΠΘ, όπου διεξήχθησαν τα πειράματα. Μετά από την συλλογή τους, τα λύματα διαλύθηκαν με απεσταγμένο νερό ώστε το τελικό διάλυμα να αποκτήσει ολικά στερεά (TS) 45386,53 ppm. Τα λύματα μπήκαν σε τεμαχιστές (μπλέντερ) για 5 λεπτά, πέρασαν από σίτα οπής 1 mm και αποθηκεύτηκαν σε ψυκτικό θάλαμο στους 4°C. Τα χαρακτηριστικά των λυμάτων των χοίρων που χρησιμοποιήθηκαν στα πειράματα δίνονται στον Πίνακα 1.

Πίνακας 1. Χαρακτηριστικά των αρχικών λυμάτων.

Ολικά στερεά (TS)	45386,53 ppm
Πτητικά στερεά (VS)	33222,94 ppm
pH	6,7

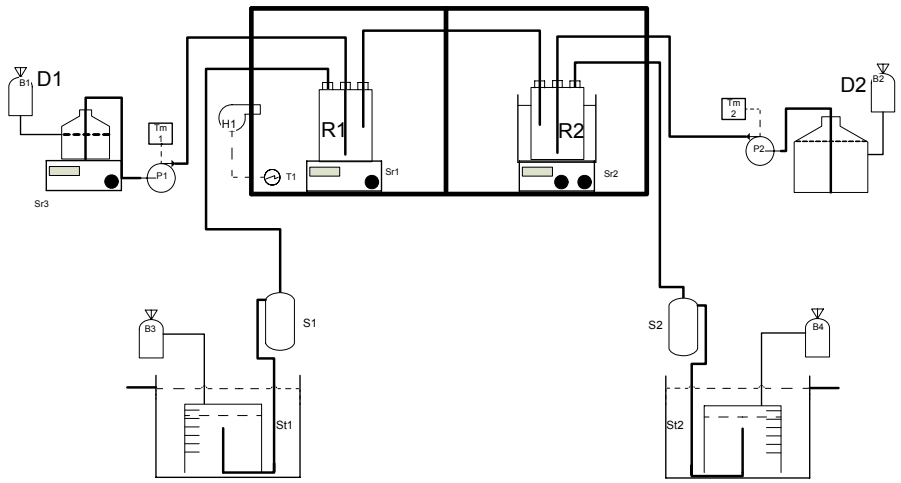
2.2 Μέθοδοι μετρήσεων

Τα ολικά στερεά (TS), τα πτητικά στερεά (VS), και το pH μετρήθηκαν τόσο κατά την είσοδο όσο και κατά την έξοδο των λυμάτων από τους αναερόβιους αντιδραστήρες. Δύο δείγματα λυμάτων συλλέγονταν κάθε φορά για ανάλυση. Οι παραπάνω μετρήσεις έγιναν βάσει των μεθόδων που περιγράφονται στο «Standard methods for the examination of water and wastewater» [7].

Η ποσότητα του παραγόμενου βιοαερίου μετρήθηκε ογκομετρικά με τη μέθοδο της απομάκρυνσης του νερού. Η ανάλυση των αερίων που περιέχονταν στο βιοαέριο έγινε με χρήση αερίου χρωματογράφου VARIAN 3700 εξοπλισμένου με θερμικής αγωγής ανιχνευτή (θερμοκρασία λειτουργίας: 160°C), θερμοκρασία λειτουργίας φούρνου 70°C, θερμοκρασία εισόδου 115°C. Μέσα στον χρωματογράφο είχαν τοποθετηθεί δύο στήλες, μία Porapak Q (εξωτερική διάμετρος :1/8¨ , εσωτερική διάμετρος: 0,085¨, μήκος: 16ft, υλικό πλήρωσης: Carbosphere, υλικό steel) και μία Molecular Sieve 5A (εξωτερική διάμετρος :1/8¨, εσωτερική διάμετρος: 0,085¨, μήκος: 6ft, υλικό steel), οι οποίες ήταν σε σειρά και λειτουργούσαν εναλλάξ. Το φέρον αέριο ήταν ήλιο με ταχύτητα ροής 25cm^3/min. Ο ποιοτικός και ποσοτικός προσδιορισμός της σύνθεσης του βιοαερίου έγινε σε ότι αφορά την περιεκτικότητα του σε CO_2, CH_4, N_2, και H_2 [8]. Επειδή το N_2 προστέθηκε στο κλειστό σύστημα για να δημιουργηθούν αναερόβιες συνθήκες και δεν αποτελεί προϊόν της ζυμωτικής διαδικασίας, απαλείφεται από τους τελικούς υπολογισμούς του παραγόμενου αερίου μίγματος .

2.3 Πειραματική διάταξη και λειτουργία

Σχεδιάστηκε και λειτούργησε ένα κλειστό σύστημα (*Σχήμα 1*) το οποίο περιελάμβανε σε σειρά, δύο αντιδραστήρες (R_1, R_2) συνεχούς ροής και πλήρους ανάμιξης (CSTR-continuous stirred tank reactor) όγκου 750ml ο καθένας. Οι αντιδραστήρες λειτουργούσαν με λύματα χοιροστασίου σε αναερόβιες συνθήκες.



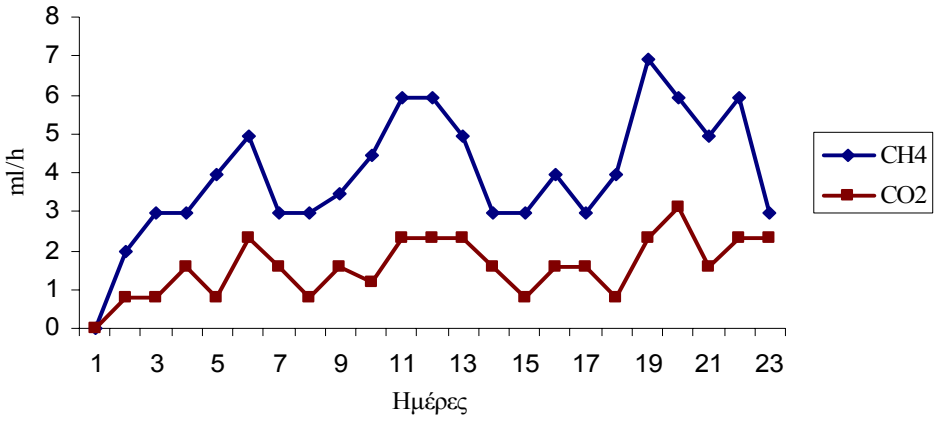
Σχήμα 1. Απεικόνιση της πειραματικής διάταξης

Η τροφοδότηση των αντιδραστήρων έγινε από δύο δεξαμενές (D_1, D_2) όγκου 0,3 και 2 l η κάθε μία αντίστοιχα. Η δεξαμενή D_1 αναδευόταν με μαγνητικό αναδευτήρα Sr_3. Ο αντιδραστήρας R_1 λειτουργούσε σε θερμοκρασία 35°C (μεσόφιλη ζώνη) και με υδραυλικό χρόνο συγκράτησης των λυμάτων (HRT-Hydraulic Retention Time) 16 ημερών. Ο δεύτερος αντιδραστήρας R_2 λειτουργούσε σε θερμοκρασία 70°C (υπερθερμόφιλη ζώνη) και με HRT 24h. Και οι δυο αντιδραστήρες αναδεύονταν με μαγνητικούς αναδευτήρες (Sr_1, Sr_2). Η συλλογή του παραγόμενου βιοαερίου γινόταν σε δεξαμενές που λειτουργούσαν με σύστημα απομάκρυνσης του νερού. Πριν τη δεξαμενή αποθήκευσης υπήρχε σύστημα διαχωρισμού των λυμάτων από το βιοαέριο. Μέρος της ενεργής βιομάζας του αντιδραστήρα R_1 μεταφερόταν με τη βοήθεια περισταλτικής αντλίας (P_1), με καθορισμένη ροή, στον δεύτερο αντιδραστήρα R_2. Στον αντιδραστήρα R_2, μαζί με την ενεργή βιομάζα, εισέρχονταν με τη βοήθεια περισταλτικής αντλίας (P_2) και λύματα από την δεξαμενή D_2. Μέσα σε όλο το κλειστό σύστημα καθώς και στα λύματα, διοχετεύτηκε αέριο άζωτο ώστε να απομακρυνθεί το υπάρχον οξυγόνο (flashing).

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ

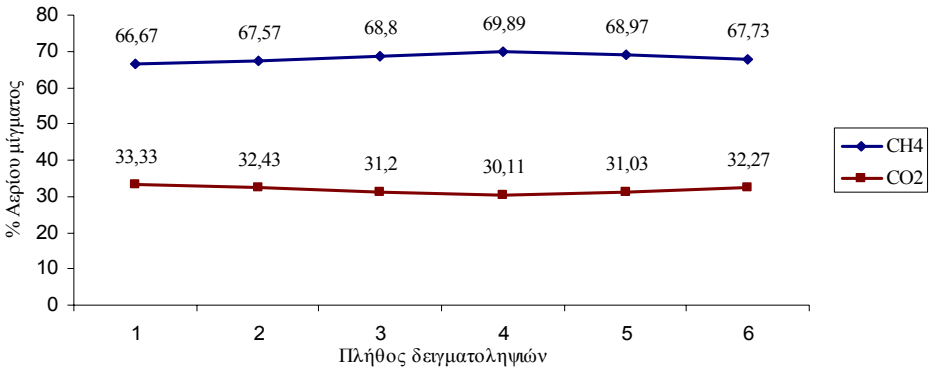
3.1 Απόδοση αντιδραστήρα R_1

Ο αντιδραστήρας R_1 τέθηκε πρώτος σε λειτουργία, με HRT 16 ημερών στους 35°C. Είχαν προηγηθεί δοκιμαστικές λειτουργίες, οι οποίες καθόρισαν το ιδανικό HRT και έδωσαν το αρχικό μόλυσμα, ώστε να ξεκινήσει άμεσα η διαδικασία μεθανογένεσης. Έτσι η παραγωγή μεθανίου ξεκίνησε από την 2η ημέρα με μικρές ποσότητες (*Σχήμα 2*).



Σχήμα 2. Παραγωγή μεθανίου και διοξειδίου του άνθρακα στον αντιδραστήρα R_1 σε ml/h.

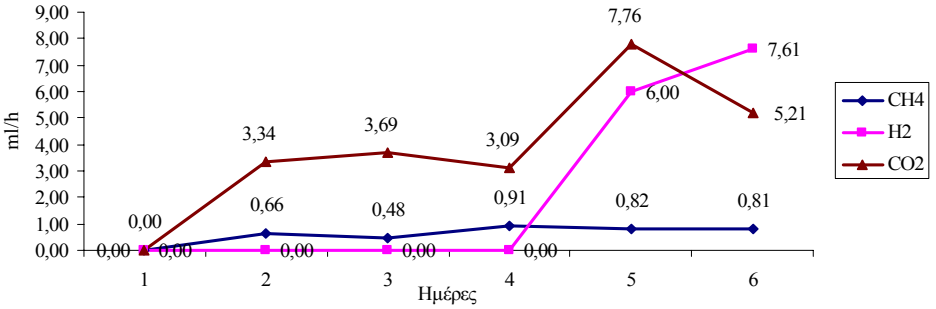
Μετά την 4η ημέρα η διαδικασία σταθεροποιήθηκε και η παραγωγή μεθανίου βρισκόταν συνεχώς πάνω από τα 3 ml/h, με μέγιστη παραγωγή τα 7 ml/h την 18η ημέρα. Η ποσοστιαία σύσταση του παραγόμενου αερίου μίγματος στον αντιδραστήρα R_1, σε όλη την διάρκεια της λειτουργίας του, παρέμεινε πρακτικά σταθερή (*Σχήμα 3*). Το ποσοστό του μεθανίου κυμαινόταν από 66,67% μέχρι 69,89%, ενώ το υπόλοιπο ήταν διοξείδιο του άνθρακα.



Σχήμα 3. Σύσταση αερίου μίγματος αντιδραστήρα R_1.

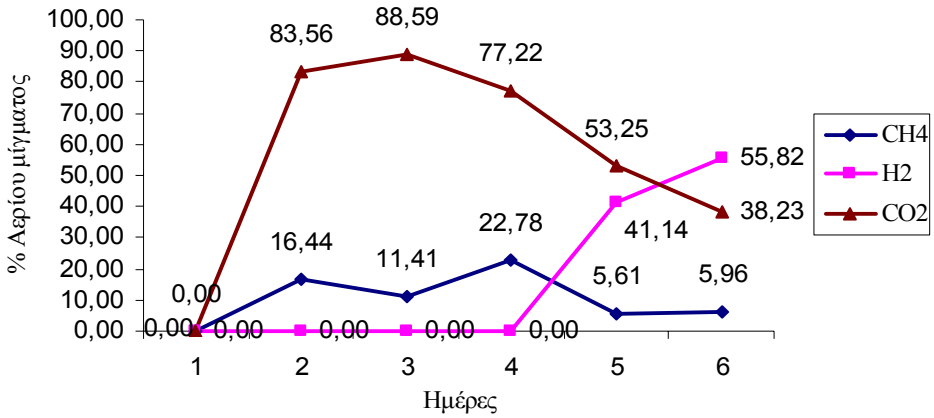
3.2 Απόδοση αντιδραστήρα R_2

Την 18η ημέρα λειτουργίας του αντιδραστήρα R_1, ξεκίνησε η λειτουργία και του αντιδραστήρα R_2 με HRT 24 ώρες στους 70°C. Η παραγωγή μεθανίου, υδρογόνου και διοξειδίου του άνθρακα στον αντιδραστήρα R_2 δίνονται παρακάτω (*Σχήμα 4*). Την 1η ημέρα λειτουργίας του, ο αντιδραστήρας R_2 δεν παρήγαγε καμία ποσότητα αερίου. Από την 2η ημέρα και έπειτα άρχισε να παράγει σταθερά, μικρές ποσότητες μεθανίου και διοξειδίου του άνθρακα. Το μεθάνιο και ένα μέρος του διοξειδίου του άνθρακα, πιθανότατα προέρχονταν από τον αντιδραστήρα R_1, λόγω της ενεργής βιομάζας που μεταφερόταν καθημερινά από τον αντιδραστήρα R_1 στον R_2.



Σχήμα 4. Παραγωγή υδρογόνου, μεθανίου και διοξειδίου του άνθρακα στον αντιδραστήρα R_2 σε ml/h.

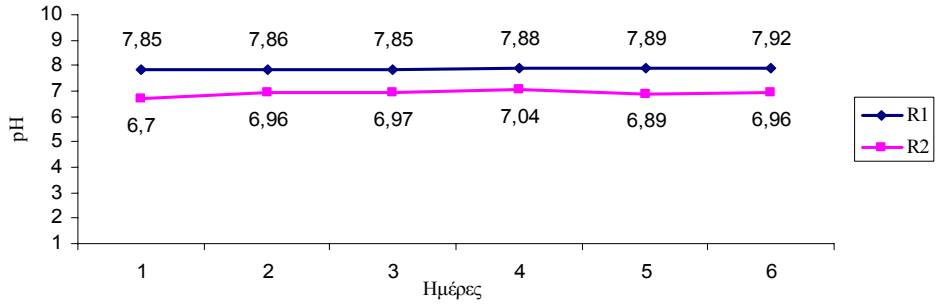
Την 5η ημέρα λειτουργίας του αντιδραστήρα R_2, παράχθηκε για πρώτη φορά υδρογόνο, που αποτελούσε μάλιστα το 41,14% του αερίου μίγματος (*Σχήμα 5*). Η παραγωγή υδρογόνου συνεχίστηκε και την 6η ημέρα με αυξητική τάση, φτάνοντας στο 55,82% του παραγόμενου αερίου μίγματος, που συνεπάγεται 7,61ml/h. Η παρουσία του μεθανίου στο αέριο μίγμα την 5η και 6η ημέρα ήταν 5,61 και 5,96% αντίστοιχα, ενώ υπήρξε ραγδαία μείωση του παραγόμενου διοξειδίου του άνθρακα, αρχικά στο 53,25% και έπειτα στο 38,23%.



Σχήμα 5. Σύσταση παραγόμενου αερίου μίγματος στον αντιδραστήρα R_2.

3.3 Διακύμανσή pH

Η διακύμανση του pH, όπως φαίνεται στο Σχήμα 6, ήταν για των αντιδραστήρα R_1 από 7,85 μέχρι 7,92, ενώ για τον αντιδραστήρα R_2 από 6,7 μέχρι 7,04.



Σχήμα 6. Διακύμανση του pH στους αντιδραστήρες R_1 και R_2.

3.4 Τελικά ολικά και πτητικά στερεά

Παρατηρούμε ότι στον αντιδραστήρα R_1 τα ολικά στερεά μετά το τέλος της αναερόβιας ζύμωσης μειώθηκαν κατά 45,64% και τα πτητικά στερεά κατά 45,79% (*Πίνακας 2*). Επίσης παρατηρούμε ότι στον αντιδραστήρα R_2 τα ολικά στερεά μετά το τέλος της αναερόβιας ζύμωσης μειώθηκαν κατά 44.62% και τα πτητικά στερεά κατά 48.07 % (*Πίνακας 2*).

Πίνακας 2.Τελικα στερεά στους αντιδραστήρες R_1, R_2.

	R_1 **ppm**	R_2 **ppm**
Ολικά στερεά (TS)	24672,12	25137,16
Πτητικά στερεά (VS)	18010,65	17251.63

3.5 Συμπεράσματα

Η παραγωγή υδρογόνου, που παρατηρείται στον αντιδραστήρα R_2, τις δύο τελευταίες μέρες λειτουργίας του, οφείλεται στην αναστολή της μεθανογένεσης, δηλαδή στην αναστολή κατανάλωσης του παραγόμενου υδρογόνου από τα μεθανογενή

βακτήρια [6]. Αυτό οφείλεται πιθανόν: α) στο σοκ από τη μετάβαση της ενεργής βιομάζας από τη μεσόφιλη στην υπερθερμόφιλη ζώνη, β) στο αυξημένο οργανικό φορτίο από τη δεξαμενή D_2, που παράγει μεγάλες ποσότητες πτητικών λιπαρών οξέων (VFA) και διατηρεί το pH σε σχετικά χαμηλά επίπεδα και γ) στο μικρό υδραυλικό χρόνο διατήρησης (HRT) στον αντιδραστήρα R_2, που δεν επιτρέπουν στα μεθανογενή βακτήρια να αναπτυχθούν.

Η διακοπή της μεθανογένεσης με την προσαρμογή των παραμέτρων που την επηρεάζουν (θερμοκρασία, HRT, pH) και η παραγωγή υδρογόνου, αποτελούν ένα ενθαρρυντικό βήμα στην προσπάθεια σταθερής παραγωγής υδρογόνου απευθείας από ζωικά λύματα με τη χρήση μικτών πληθυσμών βακτηρίων. Η πολύ μικρή παρουσία μεθανίου στο τελικό αέριο μίγμα δεν φαίνεται να προέρχεται από μεθανογένεση που εξελίσσεται στον αντιδραστήρα R_2, αλλά από μεθάνιο που μεταφέρεται καθημερινά μαζί με την ενεργή βιομάζα από τον αντιδραστήρα R_1.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Reith JH, Wijffels RH, Barten H. 2003. Bio-methane & bio-hydrogen Status and perspectives of biological methane and hydrogen production. www.novem.nl/default.asp?documentId=115509.
2. Kotsopoulos TA, Zeng JR and Angelidaki I. 2006. Biohydrogen Production in Granular Up-Flow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) Reactors With Mixed Cultures Under Hyper-Thermophilic Temperature (70°C). Wiley InterScience 2006 DOI: 10.1002/bit.20844.
3. Council Directive 1774/EC, 2002. Commision of the European Communities, Official journal, No. L 273.
4. Zhu J., Wu X., Miller C., Yu F., Chen P. and Ruan R. 2007. Biohydrogen production through fermentation using liquid swine manure as substrate. Journal of Environmental Science and Health Part B (2007) 42, 393–401.
5. Venkata M S., Lalit Babu V. and Sarma P.N. 2006. Effect of various pretreatment methods on anaerobic mixed microflora to enhance biohydrogen production utilizing dairy wastewater as substrate. Bioresource Technology doi:10.1016/j.biortech.2006.12.004.
6. Vijayaraghavan K., Amin Mohd Soom M., 2004. Trends in biological hydrogen production-a review. International Journal of Hydrogen Energy doi:10.1016/j.ijhydene.2004.10.007.
7. APHA, 1998. Standard methods for the examination of water and wastewater. 20th, American Public Health Association, American Water Works Association, Water Pollution Control Federation, Washington, DC.
8. Lemonidou, A.A., Goula, M.A., Vasalos, I.A., 1998. Carbon dioxide reforming of methane over 5 wt.% nickel calcium aluminate catalysts ± effect of preparation method. Catalysis Today 46, pp. 175-183.

Ενότητα 9:

Νέες Τεχνολογίες στη Γεωργική Μηχανική

(103)

ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΚΡΟΦΥΣΙΩΝ ΕΚΝΕΦΩΣΗΣ ΖΙΖΑΝΙΟΚΤΟΝΩΝ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗΣ ΜΕ ΦΘΟΡΙΣΜΟ

Μ. Βλαχογιάννης[1], Β. Ιακωβάκης[1], Θ. Τσιρίκογλου[1] και Δ. Χάχαλης[2]

[1] ΤΕΙ Λάρισας, Εργαστήριο Μηχανικής Ρευστών και Ρευστοδυναμικών Μηχανών
41110 Λάρισα, τηλ: 2410 684552, e-mail: mvlach@teilar.gr
[2] Εθνικό Ίδρυμα Αγροτικής Έρευνας (ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε.), Ινστιτούτο Προστασίας Φυτών
Βόλου Τ.Θ. 1303, Φυτόκο, Βόλος, Τ.Κ. 38001, e-mail: dchachalis@hotmail.com

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στη παρούσα εργασία παρουσιάζονται πειραματικά αποτελέσματα της μορφής της δέσμης του νερού από ακροφύσια εκνέφωσης ζιζανιοκτόνων. Εφαρμόσθηκε, επιτυχώς, η μέθοδος απεικόνισης με φθορισμό για την καταγραφή της χωρο-χρονικής εξέλιξης του πεδίου ροής της δέσμης του νερού. Βάσει των πρωταρχικών αποτελεσμάτων φαίνεται η αποτελεσματικότητα της μεθόδου για τη μέτρηση των γεωμετρικών χαρακτηριστικών της μορφής της δέσμης νερού και του ποσοστού εκνέφωσης. Δευτερεύουσες δέσμες νερού παρατηρούνται σε πολλά ακροφύσια, οι οποίες δεν εμπίπτουν στα τεχνικά χαρακτηριστικά των ακροφυσίων.

EXPERIMENTS ON SPRAY NOZZLES USING THE FLUORESCENCE IMAGING METHOD

M.Vlachogiannis[1] , V. Iakovakis, T. Tsirikoglou[1] and D. Chachalis

[1]Laboratory of Fluid Mechanics, Technological Institute of Larisa, Dept. of Mechanical Engineering, 41110 Larisa, Greece, e-mail: mvlach@teilar.gr
[2] National Agricultural Research Foundation (N.AG.RE.F.), Plant Protection Institute (Volos), Fytoko, Volos, 38001, e-mail: dchachalis@hotmail.com

ABSTRACT

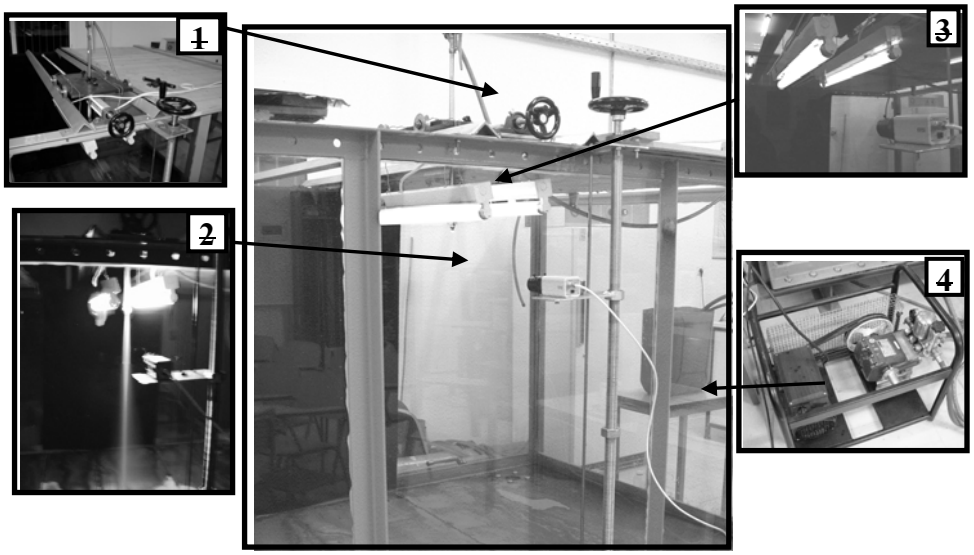
Experimental results are reported on the structure of water jet/atomization, which is created by spraying nozzles. The fluorescence imaging method is applied, for a first time, to capture the evolution of the water jet structure in space and time. Preliminary results indicate that the fluorescence imaging (FI) method is effective to measure the geometrical characteristics of the water jet. Currently, by using the FI method, the atomization of the water droplets is clearly demonstrated only qualitatively. Secondary jet-like structures, which are not anticipated according to the technical characteristics of the nozzle, are created throughout the evolution process of the primary jet.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ένας μεγάλος αριθμός εργασιών παρατίθεται στην βιβλιογραφία, καταδεικνύοντας διάφορα χαρακτηριστικά των ακροφυσίων ψεκασμού ζιζανιοκτόνων. Στη συγκεκριμένη εργασία η προσπάθεια εστιάσθηκε στη διερεύνηση του πρωταρχικού πεδίου ροής του νερού και του παραγόμενου πεδίου ψεκασμού. Ο πρωταρχικός στόχος είναι η δημιουργία ενός δοκιμαστηρίου ακροφυσίων για ποικίλες γεωργικές εφαρμογές, ώστε να ελέγχετε η γεωμετρική μορφή της δέσμης νερού και της δημιουργούμενης εκνέφωσης σταγονιδίων. Η εύρεση πιθανών ατελειών στο δημιουργούμενο πεδίο ροής αποτελεί ένδειξη κατασκευαστικών ατελειών του ακροφυσίου. Τελικός στόχος της εργασίας είναι η μελέτη και βελτιστοποίηση των παραμέτρων που επηρεάζουν τις εφαρμογές ψεκασμού ζιζανιοκτόνων, όπως για παράδειγμα η βέλτιστη απόσταση του ακροφυσίου από το έδαφος ώστε να αποφευχθεί πιθανή μεταφορά μάζας λόγω συναγωγής με τον αέρα

2. Η ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗΣ ΜΕ ΦΘΟΡΙΣΜΟ

Η πειραματική διάταξη απεικονίζεται στο σχήμα 1. Κατασκευάσθηκε ένα εγκάρσιο σύστημα μετακίνησης του ακροφυσίου για την αποφυγή της επίδρασης των τοιχωμάτων στο ροικό πεδίο και στην οπτικοποίηση. Η πηγή υπεριώδους φωτός αποτελείται από δύο (2) λαμπτήρες (TLD 40) κατά μήκος της εγκάρσιας κατεύθυνσης, συμμετρικά τοποθετημένοι πάνω από το ακροφύσιο ώστε να υπάρχει ο κατάλληλος φθορισμός του ρέοντος ρευστού. Κατάλληλη αντλία (STAR, POWER SPRAYING, 3PS) χρησιμοποιήθηκε για τη δημιουργία της δέσμης νερού, ενώ ένας ατέρμονας κοχλίας διασφαλίζει τις απαραίτητες καθετότητες και αποστάσεις μεταξύ δέσμης νερού και οπτικού πεδίου.



Σχήμα 1: Η πειραματική διάταξη. 1) Οι πηγές υπεριώδους φωτός και η ψηφιακή κάμερα δειγματοληψίας. 2) Η αντλία. 3) Το σύστημα εγκάρσιας μετακίνησης. 4) Οπτική απεικόνιση ενός πραγματικού πειράματος.

Για τη καταγραφή των χαρακτηριστικών ενός ακροφυσίου εκνέφωσης είναι απαραίτητη η απεικόνιση του πεδίου ροής αλλά και η εξάρτησή του με τον χρόνο ώστε να μελετηθεί η δυναμική των φαινομένων της ροής σε ακροφύσιο. Η μέθοδος

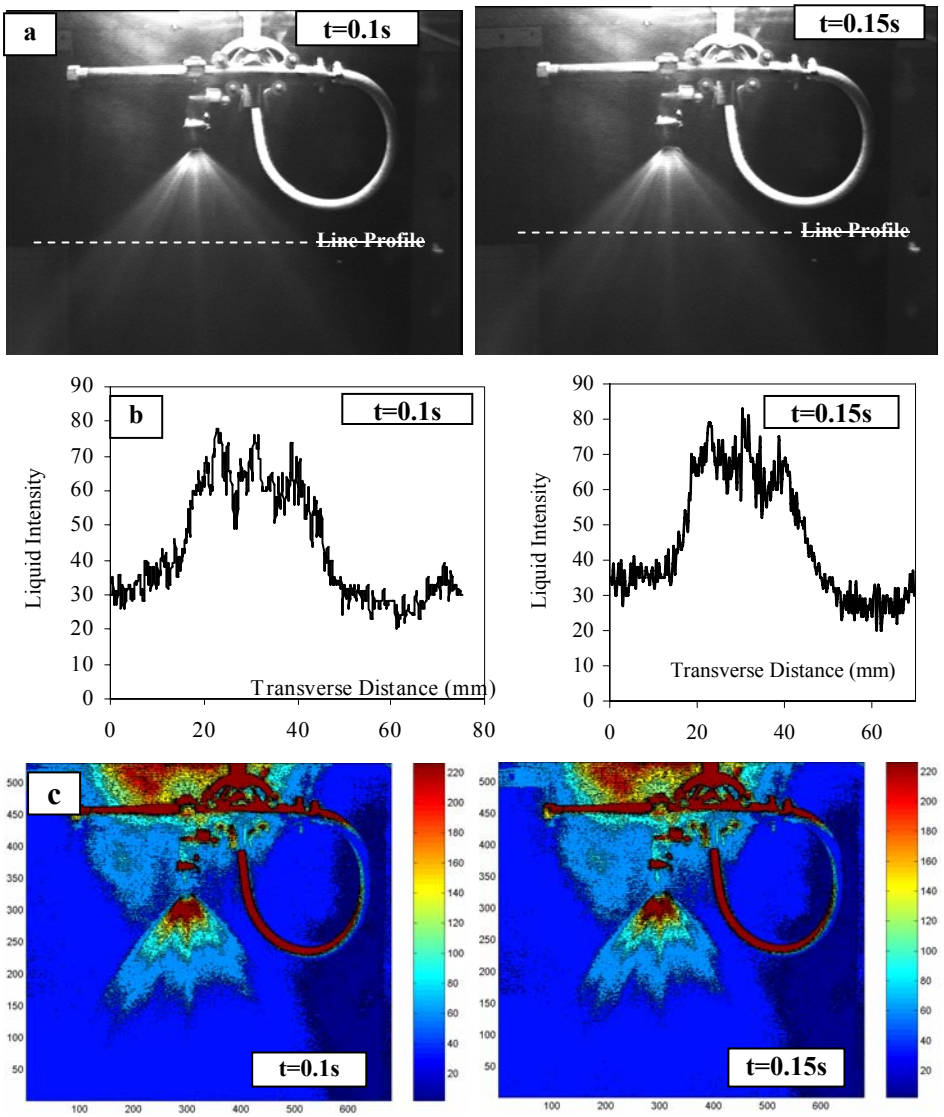
απεικόνισης με φθορισμό, η οποία χρησιμοποιήθηκε σε παρεμφερή εφαρμογή από τους Vlachogiannis et al.[3,4,5], είναι η πειραματική τεχνική μέτρησης του πάχους της δέσμης χωρο-χρονικά. Η προσθήκη μικρής ποσότητας (100-300ppm) κατάλληλης χρωστικής ουσίας στο διάλυμα έχει ως αποτέλεσμα τον φθορισμό του διαλύματος κάτω από την επίδραση υπεριώδους φωτός. Η επιλεχθείσα χρωστική ουσία είναι η ουρανίνη (Sodium Salt of Fluorescein-$C_{20}H_{10}O_5Na_2$), η οποία εκπέμπει πράσινο-κίτρινο φως σε κεντρικό μήκος κύματος 525-580nm όταν απορροφά το υπεριώδες φως. Οι ιδιότητες του ρευστού δεν επηρεάζονται με τη διάλυση της χρωστικής ουσίας. Ως πηγή υπεριώδους φωτός χρησιμοποιήθηκαν δύο λαμπτήρες υψηλής έντασης (Phillips, TL20/05) με εξαρτήματα τροφοδοσίας (ballast, starter). Μια ψηφιακή κάμερα CCD (Sony XC-77/77CE) είναι τοποθετημένη μπροστά από τη ροή ακροφυσίου και χρησιμοποιείται για την συλλογή εικόνων. Η συλλογή και αποθήκευση των εικόνων πραγματοποιείται μέσω μιας κάρτας συλλογής εικόνων (MATROX Frame Grabber Board – Data Translation) και του κατάλληλου λογισμικού. Η κάρτα επιτυγχάνει μεταφορά 30 εικόνων/δευτ. για συχνότητα 60Hz ή 25εικ./δευτ. για συχνότητα 50Hz. Οι εισερχόμενες εικόνες ψηφιοποιούνται σε 640 x 480 pixels ή 768 x 576 pixels με ανάλυση 8bits.

Σύμφωνα με τη μέθοδο απεικόνισης με φθορισμό, το πάχος του σταγονιδίου h(x,y,t) είναι γραμμικά ανάλογο με την ένταση του φωτός I(x,y,t) που εκπέμπεται από την φθορίζουσα δέσμη σταγονιδίων. Έτσι:

$$I(x,y,t) = a(x,y)\,h(x,y,t) + b(x,y) \qquad (1)$$

Το επόμενο στάδιο είναι η πρωταρχική επεξεργασία των εικόνων, η οποία συνίσταται από την επιλογή κατάλληλου φίλτρου και την εφαρμογή του σε κάθε εικόνα ξεχωριστά. Η μείωση του ηλεκτρονικού θορύβου αλλά και η ομαλοποίηση της εικόνας (smoothing) είναι επιβεβλημένη. Για τον λόγο αυτό χρησιμοποιούνται διάφορα φίλτρα συνέλιξης (convolution filters) όπως: Gaussian 15x15 ή 7x7. Τέλος, η ψηφιακή επεξεργασία και η μετατροπή της έντασης του εκπεμπόμενου φωτός σε πάχος δέσμης πραγματοποιήθηκε με προγραμματισμό σε MATLAB. Ανάλογα με το είδος κάθε εικόνας (ανάλυση - αριθμός pixels) είναι δυνατή η μετατροπή της εικόνας στον αντίστοιχο πίνακα, όπου κάθε pixel είναι και ένα σημείο του πίνακα. Έτσι μία εικόνα 576x768 pixels μετατρέπεται στον αντίστοιχο πίνακα διαστάσεων 576 γραμμές και 768 στήλες, όπου κάθε στοιχείο του πίνακα δίδει την διακριτοποιημένη ένταση του φωτισμού στο συγκεκριμένο σημείο μέτρησης.

Στο σχήμα 2 απεικονίζεται το αποτέλεσμα της εφαρμογής της μεθόδου απεικόνισης με φθορισμό για δύο διαδοχικές, χρονικά, εικόνες. Φαίνονται, επίσης, τα προφίλ της έντασης της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας σε μία συγκεκριμένη απόσταση κατάντη της ροής. Όπως φαίνεται, τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της δέσμης νερού μπορούν να αποτυπωθούν με μεγάλη ακρίβεια. Το προφίλ της εκπεμπόμενης έντασης μπορεί να αποτυπώσει την χρονική εξέλιξη της μορφής της δέσμης καθώς και τη δημιουργία δευτερευουσών δεσμών. Στην ίδια εικόνα απεικονίζονται ισοκατανομές της έντασης του εκπεμπόμενου φωτός, οι οποίες μπορούν να δώσουν περισσότερες πληροφορίες σχετικά με τη δημιουργούμενη μορφή του ροικού πεδίου, και κατ' επέκταση, της μορφής της εκνέφωσης. Με βάση τέτοιου είδους κατανομές μπορεί να βρεθεί η κρίσιμη απόσταση από το έδαφος, ώστε να αποφευχθούν φαινόμενα έντονης εκνέφωσης και εξάτμισης του νερού εξαιτίας του ανέμου. Επιπρόσθετα, το κρίσιμο μήκος εξαρτάται, ειδικά στα διαλύματα νερού – ζιζανιοκτόνου, από τη μορφή της παραγόμενη εκνέφωσης αλλά και από την ταχύτητα του ανέμου. Πρωταρχικός στόχος είναι η δημιουργία μιας ομοιόμορφης κατανομής.

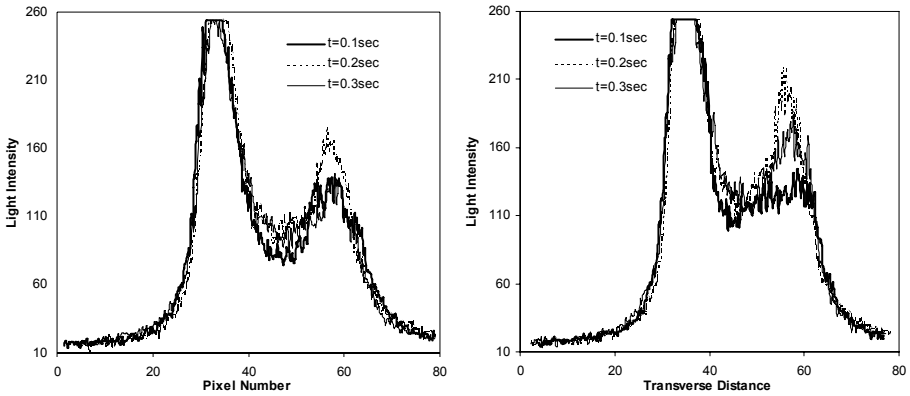


Σχήμα 2: Η εφαρμογή της μεθόδου απεικόνισης με φθορισμό και της κατάλληλης επεξεργασίας εικόνας. a) Φθορίζουσες εικόνες σε 2 διαδοχικές χρονικές στιγμές (t=0.1s & t=0.15s), b) Τα προφίλ της εκπεμπόμενης έντασης φωτός σε συγκεκριμένη απόσταση από το ακροφύσιο & c) Οι ισο-κατανομές της εκπεμπόμενης έντασης φωτός απεικονίζουν με μεγάλη ακρίβεια τη δομή της παραγόμενης εκνέφωσης.

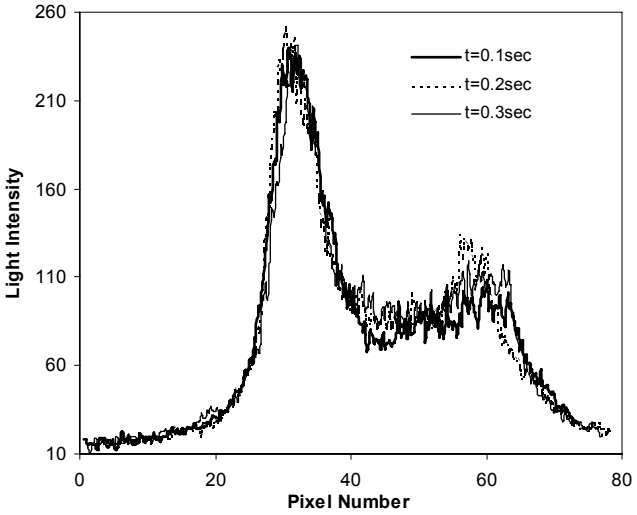
3. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Χρησιμοποιήθηκαν τέσσερα είδη ακροφυσίων τύπου ρυπιδίου. Τα δύο πρώτα αποτελούν τυπικά ακροφύσια δημιουργίας μιας δέσμης νερού και χρησιμοποιήθηκαν για τον έλεγχο καλής λειτουργίας της μεθόδου. Οι πιέσεις λειτουργίας κυμαινόταν μεταξύ 5 και 15 bars. Στο σχήμα 3 απεικονίζεται το προφίλ της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας ως συνάρτηση της εγκάρσιας απόστασης για τρεις διαφορετικές αποστάσεις από το ακροφύσιο, κατάντη της ροής (P=5 bar). Καθώς αυξάνεται η απόσταση από την άκρη

του ακροφυσίου η ένταση του εκπεμπόμενου φωτός μειώνεται, ωστόσο όμως η δέσμη νερού παραμένει σταθερή, πράγμα που υποδεικνύει ότι η εκνέφωση, στο συγκεκριμένο ακροφύσιο λαμβάνει χώρα σε μεγάλες αποστάσεις από τη άκρη του μπεκ.



Transverse distance Transverse distance



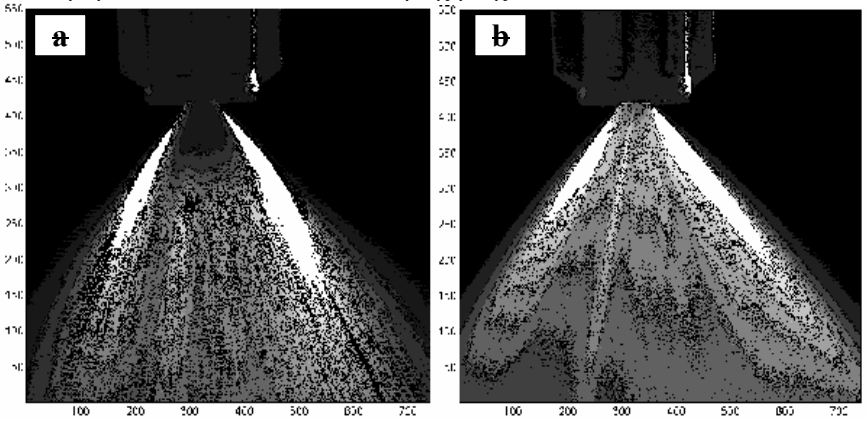
Transverse distance

Σχήμα 3: Το προφίλ της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας ως συνάρτηση της εγκάρσιας απόστασης για τρεις διαφορετικές αποστάσεις από το ακροφύσιο α) y=15mm, b) y=55mm και c) y=120mm.

Στο σχήμα 3 φαίνεται η δημιουργία μιας δευτερεύουσας δέσμης ρευστού εξαιτίας κατασκευαστικής ατέλειας του χρησιμοποιούμενου ακροφυσίου. Η δευτερεύουσα δέσμη έχει, όπως αναμένεται, μικρότερη ένταση, ωστόσο η ροή μάζας νερού διαχωρίζεται στα δύο με αποτέλεσμα την έλλειψη έλεγχου του σημείου ποτίσματος, . Ολοκληρώνοντας τα προφίλ της εκπεμπόμενης έντασης, στο χώρο και στο χρόνο, διαπιστώθηκε ότι το 70 % της συνολικής παροχής μάζας εμπεριέχεται στη κύρια δέσμη ρευστού, το 25% στη δευτερεύουσα και μόνο το 5% εκνεφώνεται, δηλαδή χάνεται από το οπτικό μας πεδίο. Η χρονική εξέλιξη της έντασης των παραγόμενων δεσμών φαίνεται να παραμένει σταθερή για τη κύρια δέσμη ρευστού. Αντιθέτως, η δευτερεύουσα δέσμη παρουσιάζει μία μη-

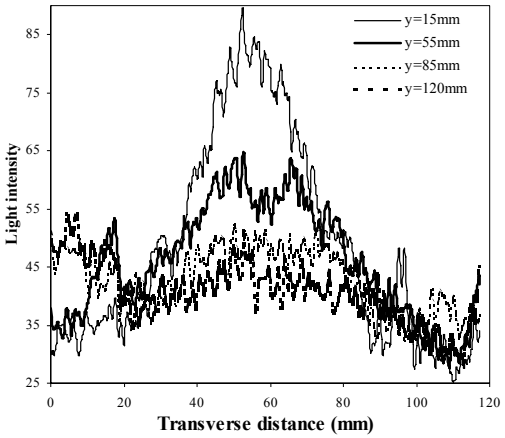
γραμμική συμπεριφορά, ειδικά σε κοντινές αποστάσεις από το μπεκ, εξαιτίας των διαταραχών της πίεσης λειτουργίας, οι οποίες οφείλονται στο είδος της αντλίας (εμβολοφόρος αντλία). Ωστόσο, σε μεγαλύτερες αποστάσεις κατάντη της ροής, η μορφή του δημιουργούμενου πεδίου ροής παραμένει αμετάβλητη με τον χρόνο, γεγονός που καταδεικνύει ότι φαινόμενα διάχυσης και συγχώνευσης σταγονιδίων παίζουν πρωτεύοντα ρόλο στην εξέλιξη του φαινομένου.

Τα πειραματικά αποτελέσματα των ισοκατανομών της έντασης της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας απεικονίζονται στο σχήμα 4. Η επεξεργασία των εικόνων, και η υψηλή ανάλυση των παραγόμενων εικόνων δίδουν χρήσιμες πληροφορίες για το είδος της ροής. Στο σχήμα 4 απεικονίζονται μετρήσεις για το δεύτερο είδος ακροφυσίου, το οποίο αποτελεί ένα τυπικό είδος ακροφυσίου για ψεκασμό νερού σε γεωργικές εφαρμογές. Τα σχήματα 4a & 4b απεικονίζουν τη δομή του ροικού πεδίου για P=5bar και P=15bar. Παρατηρείται μια δομή τύπου «ομπρέλας», με τη δημιουργία δύο κύριων δεσμών νερού, πολύ κοντά στο ακροφύσιο. Η ένταση των κύριων δεσμών δεν επηρεάζεται από την αύξηση της πίεσης, ωστόσο τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της δημιουργούμενης κωνικής μορφής αλλάζουν. Η χρησιμοποίηση της μεθόδου απεικόνισης με φθορισμό και η αναπαράσταση του ροικού πεδίου με τη μορφή των ισοκατανομών αποτελεί ένα δείκτη μέτρησης της ομοιομορφίας της δέσμης και της εκνέφωσης. Η βέλτιστη απόσταση τοποθέτησης των ακροφυσίων βρίσκεται εκεί όπου εξαφανίζονται οι δομές τύπου «δακτύλου» και δημιουργείται μία ομοιόμορφη βαρυτική ροή. Στο σχήμα 4 το οπτικό πεδίο δε μας δίδει τη δυνατότητα εύρεσης του βέλτιστου μήκους διότι απαιτείται η μετακίνηση του οπτικού πεδίου κατάντη της ροής.



Σχήμα 4: Πειραματικά αποτελέσματα των ισοκατανομών της έντασης της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας για: a) P=5bar, b) P=15bar.

Τα επόμενα πειραματικά δεδομένα αφορούν μετρήσεις σε ακροφύσια που χρησιμοποιούνται για τον ψεκασμό ζιζανιοκτόνων. Για την ακρίβεια χρησιμοποιήθηκαν δύο διαφορετικά ακροφύσια. Το ακροφύσιο No1 εμπεριέχει ένα μεταλλικό εξάρτημα, το οποίο στροβιλίζει το νερό πριν τη εξαγωγή του από το ακροφύσιο. Το ακροφύσιο No2 αποτελεί ένα εμπορικό ακροφύσιο, χαμηλού κόστους, πλαστικής κατασκευής. Το σχήμα 5 δείχνει το προφίλ της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας για το ακροφύσιο No1, ως συνάρτηση της εγκάρσιας απόστασης. Πολύ κοντά στο ακροφύσιο παρατηρείται η δημιουργία μιας κατανομής τύποy Gauss. Καθώς απομακρυνόμαστε από το ακροφύσιο η εκνέφωση λαμβάνει χώρα με αποτέλεσμα τον εκμηδενισμό της έντασης του φωτός και κατά συνέπεια τη πλήρη εκνέφωση της παραγόμενης δέσμης.

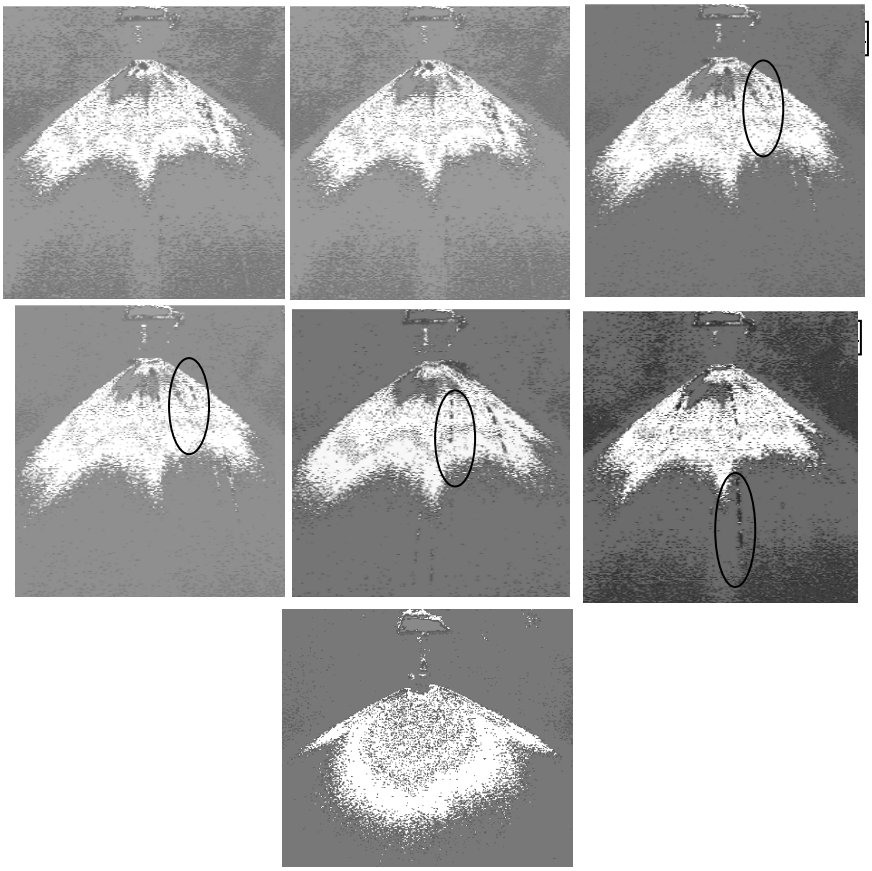


Σχήμα 5: Το προφίλ της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας για το ακροφύσιο No1, ως συνάρτηση της εγκάρσιας απόστασης.

Οι ποιοτικές και ποσοτικές διαφορές μεταξύ των δύο ακροφυσίων απεικονίζονται στο σχήμα 6, όπου φαίνεται η δομή της παραγόμενης δέσμης. Το πλαστικό ακροφύσιο δημιουργεί πολλές δευτερεύουσες δέσμες νερού με αποτέλεσμα την έλλειψη επαρκούς εκνέφωσης. Στην ίδια απόσταση από την άκρη του μπεκ, το ακροφύσιο No1 δημιουργεί μία πλήρως διασκορπισμένη ροή με πολύ καλή ομοιομορφία. Τέτοιου είδους ακροφύσια πρέπει να τοποθετούνται πολύ κοντά στο έδαφος με στόχο την αποφυγή εξάτμισης και της μεταφοράς του νερού σε ανεπιθύμητα μέρη (εξαιτίας υψηλών ταχυτήτων αέρα). Τέλος, στο σχήμα 6 φαίνονται οι ισοκατανομές της εκπεμπόμενης έντασης του φωτός για το ελαττωματικό ακροφύσιο (No2) (a-f) και για το ακροφύσιο No1. Είναι εμφανές ότι η ομοιομορφία του παραγόμενου ροικού πεδίου στο ακροφύσιο No1 είναι η βέλτιστη δυνατή. Ωστόσο, για το ακροφύσιο No2 παρατηρήθηκαν φαινόμενα έντονης συγχώνευσης σταγονιδίων στην άκρη του ακροφυσίου. Οι δημιουργούμενες σταγόνες συμπαρασύρονται από την ίδια την ροή, η κίνησή τους είναι πολύ πιο αργή εξαιτίας της αύξησης της μάζας τους και ακολουθούν μία τροχιά περιφερειακά του δημιουργούμενου ελαττωματικού «κώνου» εκνέφωσης.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η μέθοδος απεικόνισης με φθορισμό εφαρμόσθηκε με στόχο την οπτικοποίηση της ροής νερού σε ακροφύσια εκνέφωσης. Τα αποτελέσματα είναι ενθαρρυντικά διότι δίδουν τη δυνατότητα γεωμετρικής απεικόνισης και μέτρησης όλων των γεωμετρικών χαρακτηριστικών της δημιουργούμενης δέσμης νερού. Επιπρόσθετα, με την εφαρμογή της προαναφερόμενης μεθόδου μπορούν να απεικονισθούν οι επιπτώσεις των κατασκευαστικών ατελειών στη μορφή τη δέσμης του νερού. Μελλοντικά δύναται να ελεγχθεί ο ρόλος των βοηθητικών τασιενεργών ουσιών που χρησιμοποιούνται σε ποικίλλες εφαρμογές των ζιζανιοκτόνων καθώς και η επίδραση της ροής αέρα, με απώτερο στόχο τη προσομοίωση των πραγματικών συνθηκών και τη συστηματική βελτιστοποίηση των παραμέτρων ώστε να επιτυγχάνεται περισσότερο ομοιόμορφη κατανομή ζιζανιοκτόνων.



Σχήμα 6: Έξι διαδοχικές ισοκατανομές της εκπεμπόμενης έντασης φωτός για το ακροφύσιο No2. και μία για το ακροφύσιο No1. Η πίεση λειτουργίας είναι 2- 3 bars.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η εργασία χρηματοδοτήθηκε στα πλαίσια του ερευνητικού προγράμματος «ΑΡΧΙΜΗΔΗΣ ΙΙ»

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Vlachogiannis, M., Bontozoglou, V., 2001. Observations of solitary wave dynamics of film flows. *J. Fluid Mech.,* 435: 191-215.
2. Vlachogiannis, M., Bontozoglou, V., 2002. Experiments on laminar film flow along a corrugated wall. *J. Fluid Mech.,* 457: 133-156.
3. Argyriadi, K., Vlachogiannis, M., Bontozoglou, V., 2002. Experimental study of inclined film flow along periodic corrugations: The effect of wall steepness. *Phys. Fluids*. 18 (1) 012102-1-15.

(113)

AMADA: ΜΙΑ ΠΟΛΥΧΡΗΣΤΙΚΗ ΒΑΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΓΙΑ ΓΕΩΡΓΙΚΑ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΑ ΑΓΡΩΝ

Ι. Γράβαλος[α], Ζ. Τσιρόπουλος, Θ. Γιαλαμάς, Ζ. Κουτσοφίτης, Π. Ξυραδάκης, Δ. Κατέρης, Ε. Ντάφας, Θ. Λέλλης

Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Λάρισας, Σχολή Τεχνολογίας Γεωπονίας, Τμήμα Γεωργικών Μηχανών και Αρδεύσεων, Τ.Κ. 411 10, Λάρισα.
[α]e-mail: gravalos@in.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι ο σχεδιασμός και η ανάπτυξη μίας βάσης δεδομένων για τα γεωργικά μηχανήματα αγρών με την κωδική ονομασία AMADA (Agricultural MAchinery DAtabase). Για την υλοποίηση της βάσης χρησιμοποιήθηκε η πλατφόρμα προγραμματισμού Microsoft Visual Studio 2005. Διαθέτει 6 πίνακες με 39 συνολικά πεδία και 50 εντολές επεξεργασίας και ταξινόμησης των εγγραφών. Η δημιουργία της έγινε με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε να υπάρχει ταχύτατη ανταπόκριση στις εντολές, να επιτρέπεται η πρόσβαση πολλών χρηστών ταυτοχρόνως και να προσφέρεται η μέγιστη δυνατή ασφάλεια των δεδομένων.

AMADA: A MULTIPURPOSE DATA BASE FOR AGRICULTURAL MACHINERY

I. Gravalos[a], Z. Tsiropoulos, Th. Gialamas, Z. Koutsofitis, P. Xyradakis, D. Kateris, E. Dafas, Th. Lellis

Technological Educational Institute of Larissa, Faculty of Agricultural Technology, Department of Agricultural Machinery & Irrigation, 41110, Larissa, Greece.
[a]e-mail: gravalos@in.gr

ABSTRACT

The aim of this paper is the design and development of a database for agricultural machinery under code name AMADA (Agricultural MAchinery DAtabase). For the database implementation the programming platform of Microsoft Visual Studio 2005 has been used. The database appoints 6 tables with 39 fields and totally used 50 processing and classification instructions. It was designed in order to offer simple and advanced search, to permit the access for more users together and give emphasis in the security and protection of the database's data from malicious attacks.

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ταχεία εξάπλωση της χαμηλού κόστους υπολογιστικής δύναμης, είχε ως αποτέλεσμα με τη σειρά της, μία εξίσου σημαντική επανάσταση στον τομέα του λογισμικού. Η ανάγκη για φιλικές και εύχρηστες εφαρμογές, οι οποίες να είναι άμεσα προσιτές σε μη εξειδικευμένους χρήστες και οι οποίες έχουν σχετικά μικρό κύκλο ζωής λόγω της διαρκούς εξέλιξης της τεχνολογίας, άλλαξε ριζικά το χαρακτήρα, το περιεχόμενο και τον τρόπο ανάπτυξης των προϊόντων λογισμικού. Οι τεχνολογίες λογισμικού (software) διακρίνονται σε τρεις βασικές κατηγορίες:

- Η πρώτη κατηγορία περιλαμβάνει τεχνολογίες που αφορούν τον τρόπο επικοινωνίας χρήστη-μηχανής (man machine interface).
- Η δεύτερη κατηγορία περιλαμβάνει τεχνολογίες που αφορούν την αρχιτεκτονική των υπολογιστικών συστημάτων.
- Η τρίτη κατηγορία περιλαμβάνει τεχνολογίες που αφορούν τους τρόπους ανάπτυξης και συντήρησης τόσο των πληροφοριακών συστημάτων όσο και των προϊόντων λογισμικού.

Οι τεχνολογίες της δεύτερης κατηγορίας βασίζονται κυρίως στην αρχιτεκτονική client-server, η οποία συνδυάζοντας την εξαιρετική φιλικότητα και ευχρηστία, την ασφάλεια και τις υψηλές δυνατότητες επεξεργασίας και αποθήκευσης στοιχείων των μικροϋπολογιστικών συστημάτων (servers) και των συστημάτων διαχείρισης βάσεων δεδομένων (DBMS) κερδίζει συνεχώς έδαφος. Ένα σύστημα διαχείρισης βάσεων δεδομένων είναι ένα πρόγραμμα που αποθηκεύει, εμφανίζει και αλλάζει στοιχεία σε ένα ή περισσότερα αρχεία. Μπορούμε να το διακρίνουμε σε δύο μέρη, στο DBM (Data Base Manager – Διαχείριση Αρχείων) και το DAI (Database Application Interface – Διασύνδεση με την Εφαρμογή) που είναι και το μέσο επικοινωνίας μεταξύ του χρήστη και της βάσης δεδομένων [1], [2].

Υπάρχουν τέσσερα βασικά μοντέλα για τη διαχείριση των αρχείων (DBM): το ιεραρχικό, το σχεσιακό, το δικτυακό και το αντικειμενοστραφές μοντέλο. Μερικές φορές χρησιμοποιούνται και ανάμεικτα μοντέλα δεδομένων τα οποία αξιοποιούν στοιχεία από όλα ή κάποια από τα παραπάνω μοντέλα. Σήμερα στις περισσότερες βάσεις δεδομένων κυριαρχεί το σχεσιακό μοντέλο ενώ σταδιακά κερδίζει έδαφος και το αντικειμενοστραφές μοντέλο. Στα Σχεσιακά Συστήματα Βάσεων Δεδομένων (ΣΣΒΔ) οι εγγραφές οργανώνονται σε πίνακες. Ένας πίνακας μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο για να κρατήσει εγγραφές που περιγράφουν οντότητες, όσο και για εγγραφές που περιγράφουν σχέσεις. Οι βασικές πράξεις που μπορούν να γίνουν σε μία σχεσιακή βάση δεδομένων είναι ίδιες με αυτές που γίνονται σε κάθε άλλη βάση δεδομένων, δηλαδή οι: Επιλογή, Εισαγωγή, Ενημέρωση και Διαγραφή [3].

Από τη δεκαετία του '80 αρχίζουν να κάνουν την εμφάνισή τους πολλές υλοποιήσεις του σχεσιακού μοντέλου δεδομένων και σε πλατφόρμες προσωπικών υπολογιστών (PC). Ενδεικτικά, αναφέρονται τα πακέτα RBASE (της Microrim Inc.), PARADOX (της Borland Int.), SQL Server (της Sybase Inc.) και πιο πρόσφατα την ACCESS (της Microsoft Inc.). Στις βάσεις δεδομένων η ταχύτητα παίζει πολύ σημαντικότερο ρόλο απ' ότι στα άλλα είδη προγραμμάτων. Οι χρόνοι απόκρισης πρέπει να είναι όσο το δυνατόν πιο μικροί, ακόμα και στις μεγαλύτερες βάσεις. Δεν θα πρέπει όμως να παραβλέπονται και άλλα στοιχεία, όπως η ευκολία στη χρήση, οι υποστηριζόμενοι τύποι αρχείων ή τα θέματα ασφαλείας.

Στις αρχές της δεκαετίας του '90, η κατάργηση κάθε περιορισμού για την ελεύθερη χρήση του Ιντερνετ, είχε σαν αποτέλεσμα να μεταμορφωθεί αυτό σε ένα παγκόσμιο δίκτυο μετάδοσης πληροφοριών. Έτσι αναπτύχθηκε σταδιακά μία μεγάλης κλίμακας on-line υπηρεσιών, που μεταξύ των άλλων επιτρέπει την πρόσβαση σε μεγάλες βάσεις

δεδομένων και ψηφιακών βιβλιοθηκών. Με τον τρόπο αυτό η on-line αναζήτηση δεδομένων σήμερα στρέφεται κυρίως σε κατανεμημένες βάσεις δεδομένων (distributed databases) που παρέχουν τη δυνατότητα αναζήτησης πλήρους κειμένου, ψηφιακών εικόνων, βίντεο και συγκροτούν πλέον ένα περιβάλλον web. Πολλοί διεθνείς οργανισμοί διατηρούν μεγάλης κλίμακας data servers σε μία προσπάθεια να καταστήσουν τα δεδομένα τους διαθέσιμα στο ευρύτερο κοινό μέσω του World Wide Web (WWW), όπως για παράδειγμα οι βάσεις δεδομένων ARMS (Agricultural and Resource Management Survey), AGRIS (International bibliographic Information System for AGRicultural sciences and technology), FDA (Food and Drug Administration), USGS (U. S. Geological Survey), κ.ά. [4] [5].

Ένας μεγάλος όγκος πληροφοριών που αφορούν τα γεωργικά μηχανήματα είναι συγκεντρωμένος σε διαφορετικά ερευνητικά κέντρα και υπηρεσίες δημοσίων οργανισμών. Οι πληροφορίες αυτές θα μπορούσαν να είναι χρήσιμες σε πολλούς και διαφορετικούς ενδιαφερόμενους. Όμως, παρά τη σχετικά εύκολη πρόσβαση στις πληροφορίες αυτές, υπάρχει μία διάσταση ανάμεσα στο τι πραγματικά οι χρήστες χρειάζονται και στο τι είναι όντως διαθέσιμο. Η ανάγκη της πλήρους αξιοποίησης των πληροφοριών αυτών έχει κατανοηθεί από πολλούς δημόσιους και ιδιωτικούς φορείς. Η ανάγκη αυτή θα μπορούσε να ικανοποιηθεί με τη συγκέντρωση όλων αυτών των πληροφοριών σε ένα ολοκληρωμένο σύστημα διαχείρισης βάσης δεδομένων, το οποίο θα είναι διασυνδεδεμένο με το Ιντερνετ.

Από το 2005, αρχίσαμε να ψάχνουμε στο Ιντερνετ για να βρούμε εάν υπάρχουν οργανωμένες βάσεις δεδομένων, από τις οποίες θα μπορούσε κάποιος μεμονωμένος χρήστης ή τα μέλη μιας ερευνητικής ομάδας, να αντλήσουν πληροφορίες σχετικές με τα γεωργικά μηχανήματα. Στην προσπάθειά μας αυτή, διαπιστώσαμε ότι πράγματι υπάρχουν βάσεις δεδομένων με αντίστοιχο περιεχόμενο. Ενδεικτικά αναφέρουμε την "Machinery Manufactures Database" που υποστηρίζεται από την Agtech, τη δικτυακή πύλη "AgMachIN (Agricultural Machinery Information Network)" που υποστηρίζεται από την PCARRD κ.ά.

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι η ανάπτυξη μίας πολυχρηστικής βάσης δεδομένων για τα γεωργικά μηχανήματα (Agricultural MAchinery Database- AMADA) βασιζόμενη στις υπάρχουσες δομές πληροφοριών του Τμήματος Γεωργικών Μηχανών & Αρδεύσεων του Τ.Ε.Ι. Λάρισας. Σε συνεργασία με τον Πανελλήνιο Σύνδεσμο Κατασκευαστών, τον Πανελλήνιο Σύνδεσμο Εισαγωγέων, τα Ερευνητικά Κέντρα και Πανεπιστήμια της χώρας μας, η βάση αυτή θα μπορούσε σταδιακά να μετεξελιχθεί σε ένα διαδικτυακό πληροφοριακό σύστημα, όπου θα συμπεριληφθούν και θα οργανωθούν σχετικές πληροφορίες, που να αφορούν ευρύτερα το αντικείμενο των γεωργικών μηχανημάτων στον Ελλαδικό χώρο.

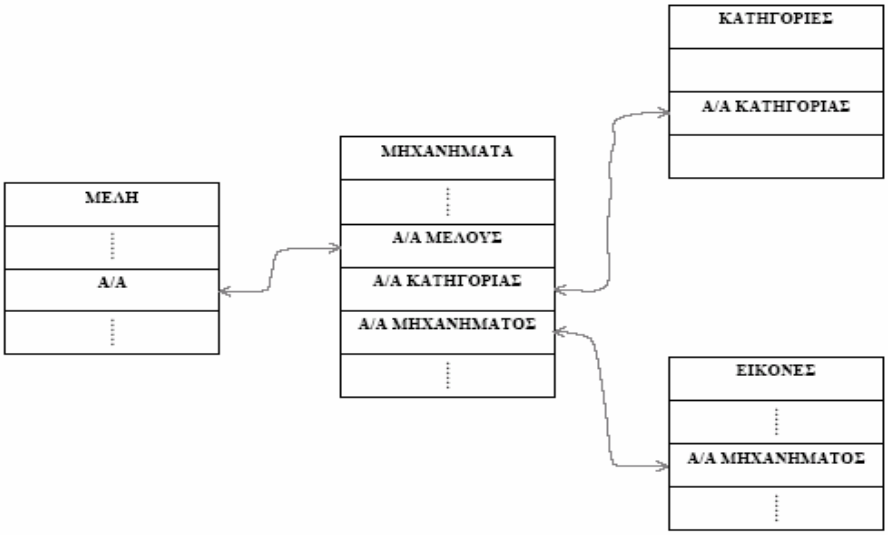
2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Η ανάπτυξη της AMADA έγινε σε τέσσερα στάδια: i) προσδιορισμός των στόχων, ii) καθορισμός του τρόπου λειτουργίας, iii) σχεδιασμός της δομής της βάσης και iv) υλοποίηση αυτής.

Ο προσδιορισμός των στόχων έγινε με την εκτενή ανάλυση κρίσιμων ζητημάτων. Ζητήματα όπως ο προσδιορισμός των ομάδων στις οποίες απευθύνεται, το είδος των πληροφοριών που θα είναι διαθέσιμες, η μέθοδος συλλογής και εισαγωγής των δεδομένων, οι δυνατότητες αναζήτησης και ο τρόπος προβολής των διαθέσιμων πληροφοριών, τα δικαιώματα των χρηστών, η αλληλεπίδραση μεταξύ της βάσης και χρηστών, η ευκολία χρήσης, η ευελιξία παραμετροποίησης της βάσης καθώς και οι πιθανές μελλοντικές ανάγκες και χρήσεις αυτής αποτέλεσαν βασικά κριτήρια προσδιορισμού των στόχων.

Αποτέλεσμα των στόχων που τέθηκαν ήταν ο καθορισμός του τρόπου λειτουργίας της βάσης. Γι' αυτό τον λόγο, ενώ η βάση έχει δημιουργηθεί κυρίως για τις ανάγκες των σπουδαστών του τμήματος Γεωργικών Μηχανών και Αρδεύσεων του Τ.Ε.Ι. Λάρισας, είναι στην Αγγλική γλώσσα για να απευθύνεται και στο ευρύ κοινό. Οι χρήστες της χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες, τους διαχειριστές, τους εγγεγραμμένους χρήστες και στους επισκέπτες. Οι επισκέπτες έχουν δυνατότητα πρόσβασης στα δεδομένα, οι εγγεγραμμένοι χρήστες έχουν πρόσβαση στα δεδομένα και δυνατότητα προσθήκης νέων εγγραφών και οι διαχειριστές έχουν πλήρη διαχείριση της βάσης. Η δυνατότητα των εγγεγραμμένων χρηστών (πιστοποιημένων) να προσθέτουν νέες έγγραφες, αποσκοπεί στην δημιουργία μιας πλήρως ενημερωμένης βάσης. Οι διαχειριστές έχουν τον κύριο λόγο στη λειτουργία της βάσης καθώς εγκρίνουν ποιες από τις εγγραφές που προσθέτουν οι χρήστες θα προβάλλονται, με στόχο την αποφυγή διπλότυπων εγγραφών και κακόβουλων ενεργειών. Επίσης οι διαχειριστές μπορούν να κάνουν σημαντικές αλλαγές στη δομή της αυξάνοντας τον βαθμό ευελιξίας της, μέσω της ειδικής σελίδας των διαχειριστών. Παράδειγμα τέτοιων αλλαγών είναι η προσθήκη νέων κατηγοριών μηχανημάτων ώστε η βάση να ακολουθεί τις τεχνολογικές εξελίξεις. Επίσης, υπάρχει υποστήριξη προσθήκης φωτογραφιών, διαγραμμάτων και σχεδίων των γεωργικών μηχανημάτων με στόχο την οπτικοποίηση των δεδομένων. Ο τρόπος λειτουργίας έχει διαμορφωθεί ώστε να είναι φιλικός προς τον χρήστη.

Το επόμενο στάδιο δημιουργίας της βάσης ήταν ο σχεδιασμός της δομής της. Ο σκοπός ήταν η δημιουργία σχεδιαγράμματος λειτουργίας της βάσης και ο ορισμός των πινάκων και των συνδέσεων αυτών (*Σχήμα 1*), έτσι ώστε η τελική μορφή της βάσης να έχει το επιθυμητό αποτέλεσμα. Το στάδιο αυτό κρίνεται πολύ σημαντικό γιατί αν δεν πραγματοποιηθεί, τότε συνεχή προβλήματα προκύπτουν κατά την υλοποίηση, με αποτέλεσμα να είναι αδύνατη η επίτευξη του στόχου.



Σχήμα 1. Το διάγραμμα σχέσεων των πινάκων.

Το τελικό στάδιο είναι η υλοποίηση της βάσης. Η υλοποίηση έγινε σύμφωνα με το σχεσιακό μοντέλο, και πραγματοποιήθηκε με την εφαρμογή Microsoft Visual Web Developer, η οποία είναι υποπρόγραμμα της εφαρμογής Microsoft Visual Studio 2005. Η γλώσσα προγραμματισμού είναι η C# και η βάση έχει μεταφραστεί σε Microsoft

.NET Framework version 2.0 (.aspx). Η βάση διαθέτει 6 πίνακες με 39 συνολικά πεδία και 50 εντολές επεξεργασίας και ταξινόμησης των εγγραφών. Η δημιουργία της έγινε με τέτοιο τρόπο ώστε να υπάρχει ταχύτατη ανταπόκριση στις εντολές, να επιτρέπεται η πρόσβαση πολλών χρηστών ταυτοχρόνως και να προσφέρεται η μέγιστη δυνατή ασφάλεια των δεδομένων. Η βάση έχει πλήρη συμβατότητα με όλους τους browsers της αγοράς και η διαμόρφωση (οπτικοποίηση) των σελίδων γίνεται με απολύτως αυτόματο τρόπο κατά την διάρκεια περιήγησης των χρηστών σε αυτή.

Ως υλισμική πλατφόρμα χρησιμοποιήθηκαν ένας προσωπικός υπολογιστής (PC) για τη δημιουργία της βάσης και στη συνέχεια τα αρχεία του στάλθηκαν σε έναν κεντρικό server.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

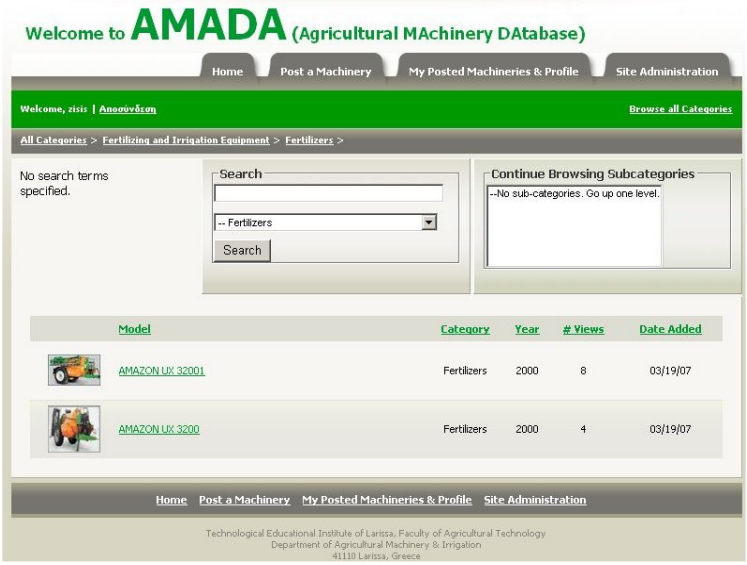
Η χρήση της βάση δεδομένων AMADA είναι εξαιρετικά απλή και γίνεται μέσω browser. Η ιστοσελίδα αυτή είναι προσβάσιμη σε όλους τους χρήστες, πιστοποιημένους και μη. Σε κάθε χρήστη αρχικά προβάλλεται η οθόνη με το μενού της εφαρμογής, το οποίο εμφανίζει τις διαθέσιμες κατηγορίες γεωργικών μηχανημάτων (για παράδειγμα Harvesting Equipment, Seeding Equipment, Pest and Weed Equipment, κ.ά.) (*Σχήμα 2*). Στη συνέχεια ο χρήστης, με τη βοήθεια του cursor, επιλέγει την κατηγορία μηχανημάτων που επιθυμεί και με το πάτημα του πλήκτρου εμφανίζεται η επόμενη οθόνη, η οποία είναι αυτή της αναζήτησης των υποκατηγοριών με τα μηχανήματα (*Σχήμα 3)*. Ο χρόνος διάρκειας της διαδικασίας είναι μερικά δευτερόλεπτα.

Σχήμα 2. Οθόνη με το αρχικό μενού επιλογών.

Επιλέγοντας ένα συγκεκριμένο τύπο μηχανήματος (για παράδειγμα το μηχάνημα ψεκασμών AMAZON UX 3200) εμφανίζεται η ολοκληρωμένη φόρμα προβολής του συγκεκριμένου μηχανήματος (*Σχήμα 4*). Στην περίπτωση που η διαδικτυακή αυτή

υπηρεσία αποτύχει, τότε εμφανίζεται η οθόνη αναζήτησης χωρίς αποτέλεσμα. Στην οθόνη προβολής μηχανήματος, ο χρήστης μπορεί να αναζητήσει τις ακόλουθες πληροφορίες:

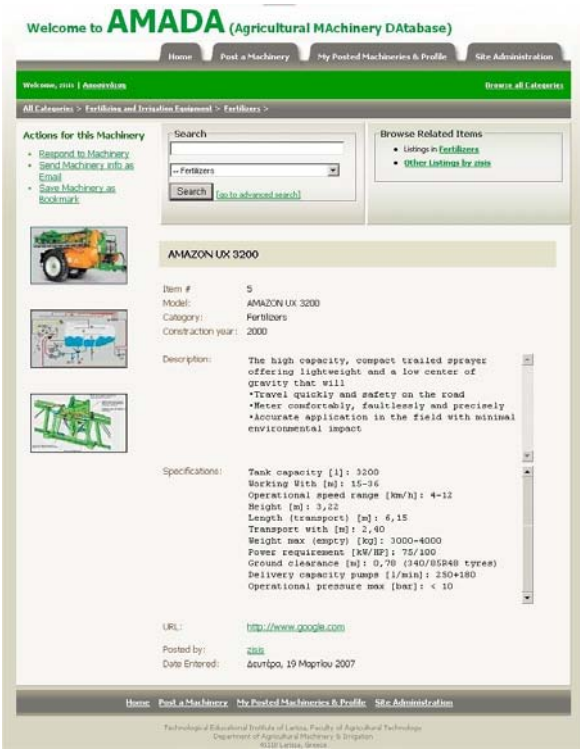
- Σύντομη περιγραφή του μηχανήματος
- Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του μηχανήματος (όπως για παράδειγμα: η χωρητικότητα της δεξαμενής, το πλάτος εργασίας, οι διαστάσεις και το βάρος του, η απαιτούμενη ιπποδύναμη, κ.ά.)
- Σύνδεση με τον κατασκευαστή του μηχανήματος μέσω διεύθυνσης URL
- Το χρήστη που καταχώρησε το συγκεκριμένο μηχάνημα
- Την ημερομηνία που το καταχώρησε και
- Ψηφιοποιημένες εικόνες του μηχανήματος, οι οποίες εάν επιλεχτούν προβάλλονται σε μεγαλύτερο πλαίσιο



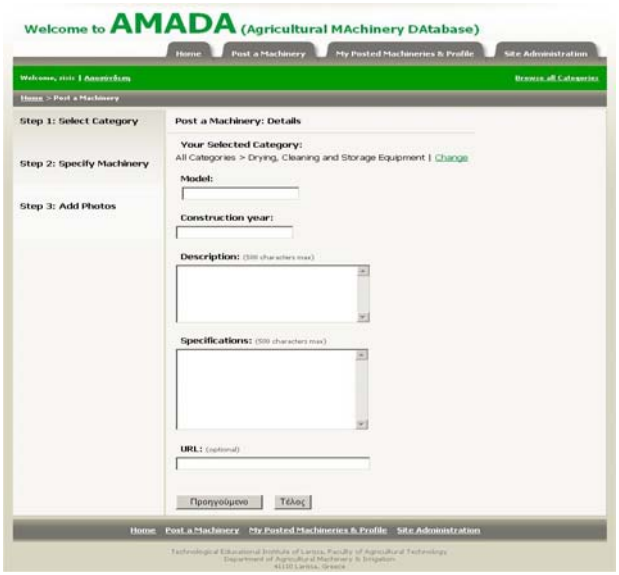
Σχήμα 3. Ενδεικτικό παράδειγμα της οθόνης αναζήτησης των υποκατηγοριών.

Η οθόνη του *Σχήματος 5* αφορά τη διαδικτυακή υπηρεσία "Αποστολή και καταχώρηση νέων τύπων γεωργικών μηχανημάτων". Ο χρήστης μεταβαίνει στη συγκεκριμένη οθόνη, όπου και πληκτρολογεί δεδομένα που αφορούν νέους τύπους μηχανημάτων. Το πρόγραμμα αποθηκεύει τις νέες καταχωρήσεις σε αρχείο μέχρι να ελεγχθούν από το διαχειριστή της βάσης και στη συνέχεια είναι διαθέσιμα για μελλοντικές χρήσεις. Οπωσδήποτε, η διασταύρωση των τεχνικών χαρακτηριστικών των καταχωρηθέντων μηχανημάτων από τους πιστοποιημένους χρήστες είναι μία επίπονη και δύσκολη διαδικασία για το διαχειριστή του συστήματος.

Στο σημείο αυτό, όπως και σε όλες τις άλλες οθόνες, ο χρήστης μπορεί να αποσυνδεθεί από το σύστημα και να επιστρέψει στην αρχική οθόνη.



Σχήμα 4. Ενδεικτικό παράδειγμα της οθόνης προβολής μηχανήματος.



Σχήμα 5. Οθόνη αποστολής και καταχώρησης νέων τύπων γεωργικών μηχανημάτων.

Πολύ σημαντικός, στη διατήρηση της λειτουργικότητας της βάσης δεδομένων AMADA, είναι ο ρόλος εκείνου του ατόμου ή της ομάδας ατόμων (administrator), που ανέλαβαν να τη συντηρούν προσθέτοντας, αφαιρώντας ή τροποποιώντας κάποιες από τις νέες καταχωρήσεις. Για το λόγο αυτό, θα ακολουθούνται κάποιες βασικές κατευθύνσεις,

οι οποίες έχουν να κάνουν με τον τρόπο λειτουργίας της εφαρμογής. Οι κλήσεις διαδικτυακών υπηρεσιών θα καταγράφονται σε αρχείο ημερολογίου (log file), το οποίο θα περιέχει αναλυτικές πληροφορίες σχετικά με τον αιτούντα αυτής της εφαρμογής και το χρόνο πραγματοποίησης της κλίσης. Με τον τρόπο αυτό θα επιτυγχάνεται η ιχνηλασιμότητα (tracing) του συστήματος και θα είναι δυνατή η παρακολούθηση και η ανάλυση των κλίσεων.

Ο έλεγχος λειτουργίας του συστήματος της βάσης δεδομένων έγινε με τη μεθοδολογία του "μαύρου κουτιού". Σύμφωνα με την τεχνική αυτή, το σύστημα αντιμετωπίστηκε ως ένα μαύρο κουτί και μόνον από την άποψη του εξωτερικού χρήστη, αδιαφορώντας για το εσωτερικό του συστήματος και τον τρόπο υλοποίησής του. Ο έλεγχος αποτέλεσε μία σημαντική διαδικασία στην επιτυχημένη ανάπτυξη του συστήματος αφού όχι μόνο πιστοποίησε το σωστό σχεδιασμό του, αλλά παράλληλα φανέρωσε τις διάφορες αδυναμίες του, οι οποίες διορθώθηκαν εγκαίρως. Επίσης κατέστη δυνατόν, να οριοθετηθούν νέες λειτουργίες που αρχικά δεν είχαν προβλεφθεί.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- Η βάση δεδομένων για τα γεωργικά μηχανήματα αγρών (AMADA) που προτείνεται με την εργασία αυτή, δεν δημιουργήθηκε μόνο για να καλύψει τις εκπαιδευτικές ανάγκες των σπουδαστών του Τμήματος Γεωργικών Μηχανημάτων και Αρδεύσεων του Τ.Ε.Ι. Λάρισας, αλλά μπορεί να αποτελέσει το υπόδειγμα για ένα ευρύτερο διαδικτυακό πληροφοριακό σύστημα που να αφορά τα γεωργικά μηχανήματα στον Ελλαδικό χώρο.
- Η λογισμική αυτή εφαρμογή, σύμφωνα με τα όσα αναφέρθηκαν ανωτέρω, επιτρέπει σε όλους τους χρήστες την ελεύθερη πρόσβαση και δίνει τη δυνατότητα στους πιστοποιημένους χρήστες να εισάγουν νέες εγγραφές. Η βάση έχει πλήρη συμβατότητα με όλους τους browsers της αγοράς και η διαμόρφωση (οπτικοποίηση) των σελίδων γίνεται με απολύτως αυτόματο τρόπο κατά τη διάρκεια περιήγησης των χρηστών σε αυτή.
- Ο μηχανισμός της βάσης δεδομένων ελέγχθηκε με μία σειρά παραδειγμάτων εκτέλεσης, τα οποία κάλυπταν μεγάλο εύρος περιπτώσεων και βαθμού πολυ-πλοκότητας και διαπιστώθηκε ότι μπορεί να λειτουργήσει ικανοποιητικά.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Elmasri, R., Navathe, S. B., 1994. *Fundamentals of database systems*. Addison Wesley.
2. Σκορδαλάκη, Ε., 2004. *Τεχνολογία λογισμικού*. Ε.Μ.Π.
3. Ξένος, Μ., Χριστοδουλάκης, Δ., 2002. *Εισαγωγή στις βάσεις δεδομένων*. Εκδόσεις Παπασωτηρίου.
4. Sherman, C., Price, G., 2001. *The Invisible Web: Uncovering Information Sources Search Engines Can't See*. CyberAge Books, Medford, NJ.
5. Alonso, G., Casati, F., Kuno, H., Machiraju, V., 2004. *Web services concepts, Architectures and Applications.* Springer.

(121)

ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΩΝ ΚΑΙ ΕΔΑΦΟΚΛΙΜΑΤΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ ΤΗΣ ΤΕΧΝΗΤΗΣ ΛΙΜΝΗΣ ΣΜΟΚΟΒΟΥ

Α. Αυγουστής[α], Μ. Σαπουντζής, Δ. Κατέρης, Ι. Γράβαλος, Π. Ξυραδάκης
Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Λάρισας, Σχολή Τεχνολογίας Γεωπονίας, Τμήμα Γεωργικών Μηχανών και Αρδεύσεων, Τ.Κ. 411 10, Λάρισα. [α]e-mail: a.avgoustis@hotmail.com

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εργασία αυτή παρουσιάζονται τα γεωμορφολογικά και εδαφοκλιματικά στοιχεία της λεκάνης απορροής των κυρίων υδατορευμάτων που τροφοδοτούν την τεχνητή λίμνη Σμοκόβου, καθώς και του Σοφαδίτη ποταμού. Η διερεύνηση επιτυγχάνεται με την βοήθεια του προγράμματος "ArcView" που συμβάλει στην ανάλυση και επεξεργασία των γεωγραφικών και υδρολογικών δεδομένων που αφορούν τη λεκάνη απορροής της τεχνητής λίμνης Σμοκόβου. Οι παραγόμενες πληροφορίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν στη συνέχεια σε διάφορα υδρολογικά μοντέλα.

SPECIFICATION OF THE GEOMORPHOLOGIC, GROUND AND CLIMATOLOGIC FEATURES OF THE BASIN OF THE SMOKOVOS RESERVOIR

A. Avgoustis[α], M. Sapoudzis, D. Kateris, I. Gravalos, P. Xyradakis
Technological Institute of Larissa, School of Technology of Agronomics, Department of Agricultural Machines and Irrigation, P.C, 41110, Larissa, [α]e-mail: a.avgoustis@hotmail.com

ABSTRACT

This project presents the geomorphologic, ground and climatologic features of the drainage basin of the main water streams which supply the Smokovos Reservoir and the of the Sophadites River. The research is made with the help of the program ArcView which contribute to the analysis and elaboration of the geographic and hydrologic facts which refer to the drainage basin of the Smokovos reservoir. Moreover, the information may be used in several hydrologic models.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το υδατικό ισοζύγιο των λεκανών απορροής καθορίζεται από τα κατακρημνίσματα, προϊόν των οποίων αποτελεί η δημιουργούμενη απορροή. Η θερμοκρασία καθορίζει την εξάτμιση, δηλαδή τις απώλειες απορροής. Για το λόγο αυτό, από το σύνολο των μετεωρολογικών παραγόντων, γίνεται μελέτη, κυρίως των κατακρημνισμάτων, της θερμοκρασίας καθώς και του συνδυασμού αυτών.

Κατά καιρούς έχουν παρουσιαστεί διάφορα μοντέλα που κάνουν χρήση των δυο αυτών μετεωρολογικών παραμέτρων, με ποιο γνωστό το πρώτο μηνιαίο μοντέλο υδατικού ισοζυγίου, το οποίο αναπτύχθηκε στη δεκαετία του 1940 από τον Thornthwaite [1], το οποίο αργότερα τροποποιήθηκε από τους Thornthwaite και Mather [2]. Από τότε, έχουν αναπτυχθεί και εφαρμοστεί διαφόρων κατηγοριών μοντέλα σ' ένα μεγάλο φάσμα υδρολογικών προβλημάτων [3,4,5].

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι ο προσδιορισμός της έκτασης της λεκάνης τροφοδοσίας (και των μορφομετρικών χαρακτηριστικών της) του ταμιευτήρα και του Σοφαδίτη ποταμού καθώς και η έρευνα των κλιματολογικών και βροχομετρικών στοιχείων της περιοχής, με την βοήθεια των οποίων προκύπτουν οι όμβριες καμπύλες και για τις δύο λεκάνες απορροής της εξεταζόμενης περιοχής. Τα στοιχεία αυτά θα μπορέσουν να χρησιμοποιηθούν στο μέλλον σε διάφορα υδρολογικά μοντέλα που θα εφαρμοστούν στην περιοχή.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1 Περιοχή μελέτης

Η Τεχνητή Λίμνη Σμοκόβου, βρίσκεται σε απόσταση 30 km Νοτίως-ΝΑ της Καρδίτσας και 25 km Νοτίως των Σοφάδων, στην θέση «Παλιοσταλός», στην περιοχή των κοινοτήτων Λουτροπηγής και Κτιμένης του Νομού Καρδίτσας, λίγο μετά στη συμβολή των παραποτάμων του Ονόχωνου, γνωστού και ως Πενδάμη, Κτιμενιώτη, Κουμαρορέματος ή Πεναταμύλη και του Ρεντινιώτη, γνωστού και ως Πατιώτη, που ενισχύεται από τα υδατορεύματα της Παπούσας και του Τασορεύματος (*Σχήμα 1*) [6].

Σχήμα 1. Ο Νομός της Καρδίτσας στον οποίο ανήκει η τεχνητή λίμνη Σμοκόβου.

Η περιοχή έρευνας περιλαμβάνει τη λεκάνη απορροής του Σοφαδίτη ποταμού συνολικής έκτασης 500 km^2, που μαζί με τα ευρύτερα έργα ανάπτυξης και τις προβλεπόμενες αρδευόμενες εκτάσεις καταλαμβάνουν έκταση 738 km^2 και εκτείνονται στους Νομούς Καρδίτσας, Φθιώτιδας και Λάρισας [6].

Ο ταμιευτήρας βρίσκεται σε υψόμετρο 380 m, σε περιοχή μέσης βλάστησης, με ανθρώπινες δραστηριότητες και τροφοδοτείται από τις λεκάνες απορροής των Ονόχωνου-Ρεντινιώτη, συνολικής εκτάσεως 382 km^2. Η λεκάνη απορροής του Σμοκοβίτη, συνολικής εκτάσεως 118 km^2, δεν τροφοδοτεί τον ταμιευτήρα.

Η προσφορά νερού προέρχεται ανάντη του φράγματος, από την απορροή των υπολεκανών Ρεντινιώτη και Ονόχωνου, ενώ η ζήτηση καθορίζεται από το επίπεδο ανάπτυξης των κατάντη αρδευτικών έργων, καθώς και από τις περιβαλλοντικές απαιτήσεις για την διατήρηση μόνιμης ροής στην κοίτη του Σοφαδίτη και στα όρια της λίμνης [6].

Οι δυο λεκάνες απορροής διαφοροποιούνται ως προς τα υδρολογικά χαρακτηριστικά τους και η διερεύνηση της επιμέρους δίαιτάς τους παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον. Ειδικότερα, η υπολεκάνη του Ονόχωνου, η οποία ενισχύεται από τις εκροές του οροπεδίου της Ξυνιάδας, αποτελεί ένα διαταραγμένο σύστημα, όχι μόνο επειδή κατά την αρδευτική περίοδο η έξοδος της αποστραγγιστικής τάφρου φράσσεται, αλλά και λόγω των επιβαρυμένων ρυπαντικών φορτίων, τα οποία προέρχονται από την έκπλυση των αρδευτικών εκτάσεων, υποβαθμίζοντας με τον τρόπο αυτό την ποιοτική κατάσταση των νερών του ταμιευτήρα [7].

2.2 Μεθοδολογία

Για την καταγραφή και διαχείριση των αναγκαίων για τη μελέτη της περιοχής στοιχείων έχει χρησιμοποιηθεί το Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών (ΣΓΠ) "GIS-ArcView". Το ΣΓΠ επιτρέπει την αυτοματοποίηση πολλών διεργασιών, συμπληρώνοντας πολλές αναλυτικές μεθόδους που χρησιμοποιούνται για τη διαχείριση των υδατικών πόρων [8]. Ως υπόβαθρο χρησιμοποιήθηκαν τοπογραφικοί χάρτες της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού (Γ.Υ.Σ., κλίμακα, 1:50.000). Όλες οι χαρτογραφικές πληροφορίες, που αφορούν την περιοχή μελέτης, ψηφιοποιήθηκαν και μετατράπηκαν σε αρχείο "ΓΠΣ/GIS" στο πρόγραμμα "GIS-ArcView", όπου δημιουργήθηκαν οι χωρικές αλληλοσυσχετίσεις μεταξύ των γεωγραφικών στοιχείων.

Με την βοήθεια του προγράμματος μετά από επεξεργασία, δημιουργήθηκαν όλες οι βάσεις δεδομένων οι οποίες σχετίζονται με τα μορφομετρικά χαρακτηριστικά των λεκανών απορροής και περιλαμβάνουν το εμβαδόν, τη περίμετρο, το μέγιστο, το μέσο και το ελάχιστο υψόμετρο καθώς και τη μέση κλίση της κάθε λεκάνης (*Σχέση 1*).Επίσης δημιουργήθηκαν οι βάσεις δεδομένων που σχετίζονται με το μήκος της κεντρικής κοίτης και το συνολικό μήκος του υδρογραφικού δικτύου.

Η μέση κλήση των λεκανών υπολογίστηκε από την σχέση που ακολουθεί [9]:

$$S = 100 \cdot \frac{\Sigma L \cdot h}{A} \qquad (1)$$

όπου: S είναι η μέση κλίση της λεκάνης (%), ΣL είναι το συνολικό μήκος χωροσταθμικών (km), h είναι η ισοδιάσταση χωροσταθμικών (km) και A είναι η έκταση της λεκάνης (km^2).

Τέλος με τη βοήθεια των προαναφερθέντων στοιχείων και των μετεωρολογικών δεδομένων (βροχόπτωση και θερμοκρασία) που συγκεντρώθηκαν από τους βροχομετρικούς σταθμούς των Φουρνών και του Δομοκού υπολογίστηκαν, η εξατμισοδιαπνοή (μέθοδος Thorntwaite), η μέση βροχόπτωση, η συνολική απορροή και οι όμβριες καμπύλες. Οι επιλογή των εν λόγω δύο βροχομετρικών σταθμών έγινε με βάση το πλήθος και την πληρότητα των μετεωρολογικών δεδομένων τους.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

3.1 Παράθεση των προσδιορισμένων μορφολογικών χαρακτηριστικών της λεκάνης τροφοδοσίας του ταμιευτήρα

Μετά την επεξεργασία των δεδομένων προέκυψε ότι η συνολική λεκάνη έχει έκταση 500 km^2, με μέσο υψόμετρο 675 m, με υψηλότερο σημείο τα 1500 m και χαμηλότερο τα 220 m. Το συνολικό μήκος του υδροκρίτη είναι 121,32 km και ο βαθμός στρογγυλομορφίας 4,12 km^2/km. *(Σχήμα 2).* Αυτή χωρίζεται στην λεκάνη τροφοδοσίας του ταμιευτήρα εκτάσεως 382 km^2 *(Σχήμα 2, κίτρινο και μοβ χρώμα)* και την λεκάνη του Σμοκοβίτη εκτάσεως 118 km^2 *(Σχήμα 2, γαλάζιο χρώμα),* με κύριο υδατόρευμα το Σμοκοβίτικο που βρίσκεται ανάντη του υδρομετρικού σταθμού Κέδρου που δεν τροφοδοτεί τον ταμιευτήρα και ενώνεται με τον Σοφαδίτη 6 km περίπου ανάντη του Κέδρου.

Σχήμα 2. Χάρτης της λεκάνης και των δύο υπολεκανών αυτής.

Στην λεκάνη αυτή υπάρχουν σημαντικές πηγές, με συνέπεια τη διατήρηση μόνιμης ροής όλες τις εποχές του έτους. Ως προς τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά, μοιάζει με αυτή του Ρεντινιώτη, χαρακτηρίζεται δηλαδή από έντονες κλίσεις, *(Σχήμα 3 και 4)* πυκνή βλάστηση και πετρώματα χαμηλής περατότητας. Έχει μέσο υψόμετρο 696 m, με υψηλότερο σημείο τα 1260 m και χαμηλότερο τα 200 m και μέση κλίση τα 24,5%. Ο υδροκρίτης της έχει μήκος 49,69 km και ο βαθμός στρογγυλομορφίας της είναι 3,01 km^2/ km. Το μήκος της κεντρικής κοίτης ανέρχεται στα 12 km.

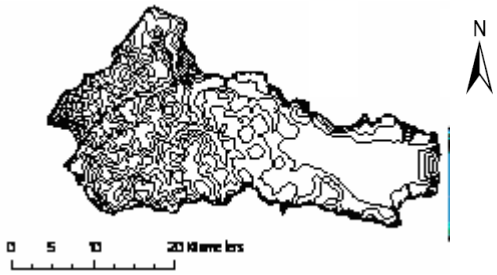
Η λεκάνη τροφοδοσίας του ταμιευτήρα Σμοκόβου (Ονόχωνου-Ρεντινίωτη), έχει έκταση 382 km^2 και μέσο υψόμετρο 620 m, με ψηλότερο σημείο τα 1500 m και χαμηλότερο τα 280 m και μέση κλίση 14,5%. Ο υδροκρίτης της έχει μήκος 106,29 km και ορίζεται από την οροσειρά των Αγράφων στα δυτικά, την οροσειρά του Τυμφρηστού στα νοτιοδυτικά, το όρος Όθρυς στα νότια, τους χαμηλούς λόφους του οροπεδίου της αποξηραμένης λίμνης Ξυνιάδας στα ανατολικά, και τα όρη Ξεροβούνι, Κούμαρος, Πλατειά Ράχη, Παλιομονάστηρο, Κρανόρραχη και Κατάχλωμο στα βόρεια. Ο βαθμός στρογγυλομορφίας της είναι 3,59 km^2/ km και το μήκος της κεντρικής κοίτης ανέρχεται στα 45,26 km (15,58 km Ρεντινιώτης και 29,68 km Ονόχωνος).

Η υπολεκάνη του Ρεντινιώτη έχει έκταση 150 km^2 και μέσο υψομέτρου 745 m, με ψηλότερο σημείο τα 1500 m και χαμηλότερο τα 330 m και μέση κλίση 21,5%. Ο υδροκρίτης της έχει μήκος 59,79 km με μεγάλα υψόμετρα που ξεπερνούν τα 1300 m. Στο ΝΑ όριο της λεκάνης υπάρχουν έντονες κλίσεις, αρκετά πυκνή δασώδη βλάστηση και κυριαρχία των αδιαπέρατων γεωλογικών σχηματισμών (κυρίως φλύσχης. αλλά και μάργες, οφιόλιθοι, περιδοντίτες [7]. Ο βαθμός στρογγυλομορφίας της είναι 2,5 km^2/ km και το μήκος της κεντρικής κοίτης ανέρχεται στα 15,58 km.

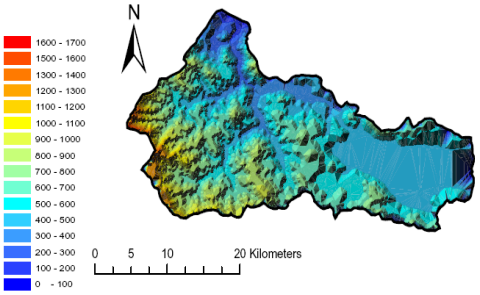
Ο Ονόχωνος τροφοδοτείται από τα νερά της τοπικής του λεκάνης, καθώς και από την αποστράγγιση του οροπεδίου Ξυνιάδας, έκτασης 80 km^2. Τα επιφανειακά νερά της

Ξυνιάδας συγκεντρώνονται σε μία κύρια αποστραγγιστική τάφρο και μέσω μιας τεχνητής χωμάτινης διώρυγας διοχετεύονται στον Ονόχωνο[7]. Η συνολική απορρέουσα επιφάνεια φθάνει τα 232 km^2 και ο υδροκρίτης της έχει μήκος 79,35 km. Το μέσο υψόμετρο της ανέρχεται στα 545 m, με ψηλότερο σημείο τα 800 m και χαμηλότερο τα 330 m και μέση κλίση 9,6%. Ο βαθμός στρογγυλομορφίας της είναι 2,92 km^2/ km. Και το μήκος της κεντρικής κοίτης ανέρχεται 29,68 km.

Η ημιορεινή λεκάνη του Ονόχωρου χαρακτηρίζεται από μέτριες κλίσεις, *(Σχήμα 3 και 4)* και καλύπτεται από πυκνή θαμνώδη βλάστηση. Όπως και στην γειτονική λεκάνη του Ρεντιντώτη, παρατηρείται κυριαρχία των αδιαπέρατων γεωλογικών σχηματισμών, με εξαίρεση το νότιο ορεινό τμήμα της (εκτός δηλαδή της λεκάνης κατάκλισης), όπου αναπτύσσονται κρητιδικοί ασβεστόλιθοι μέτριας περατότητας. Αντίθετα, στην πεδινή περιοχή της Ξυνιάδας. όπως και στα γύρω βουνά (ειδικά στο βόρειο τμήμα), αναπτύσσεται χαμηλή βλάστηση και είναι εμφανής η κυριαρχία των ασβεστολιθικών σχηματισμών. Η περιοχή είναι φτωχή σε υδατικούς πόρους, τόσο επιφανειακούς όσο και υπόγειους [7].



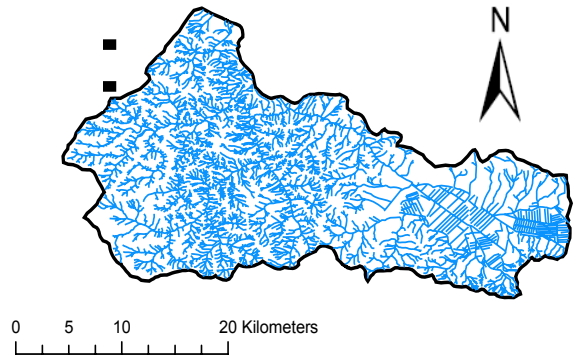
Σχήμα 3. Χάρτης των ισοϋψών της λεκάνης.



Σχήμα 4. Χάρτης του ψηφιακού μοντέλου εδάφους της λεκάνης

3.2. Μετεωρολογικά και υγρομετρικά δεδομένα

Ο σημαντικότερος μετεωρολογικός σταθμός της περιοχής είναι αυτός του Δομοκού, ο οποίος υπάγεται στην Ε.Μ.Υ. και λειτουργεί από το 1950. Για τον σταθμό αυτό είναι διαθέσιμα σε μηνιαία κλίμακα τα δείγματα μέσης θερμοκρασίας από το 1979 έως το 1996, σχετικής υγρασίας από το 1970 έως το 1996 και νέφωσης από το 1991 έως το 1996.



Σχήμα 5. Χάρτης του υδρογραφικού δικτύου της λεκάνης.

Τα παραπάνω στοιχεία θα αξιοποιηθούν για την εκτίμηση της δυνητικής εξατμισοδιαπνοή.

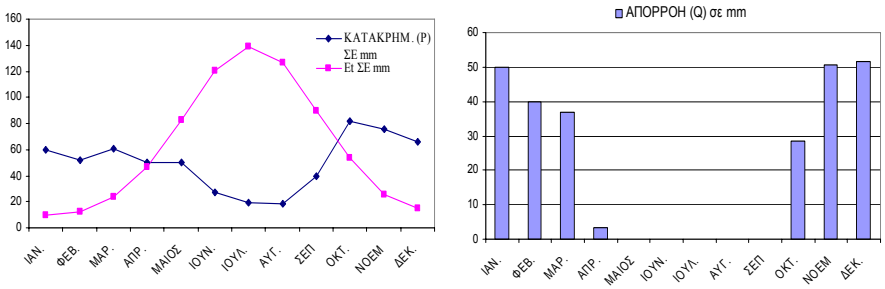
Οι μετρήσεις παροχής έγιναν απ' ευθείας στο ίδιο το ποτάμι και στους άλλους παραποτάμους του Πηνειού, καθώς και τα αποτελέσματα μετρήσεων βροχοπτώσεων από σταθμούς κατανεμημένους σε όλη τη λεκάνη απορροής του Πηνειού [7]. Οι μετρήσεις βροχοπτώσεων ολόκληρης της λεκάνης απορροής του Σοφαδίτη, έγιναν από τους βροχομετρικούς σταθμούς της Ρεντίνας και της Ξυνιάδας. Πολύτιμες πληροφορίες για τη σπουδαιότητα και την κατανομή των βροχοπτώσεων έδωσαν και οι παρατηρήσεις των γειτονικών σταθμών Δομοκού, Ανάβρας και Θραψιμίου.

3.3 Εξατμισοδιαπνοή

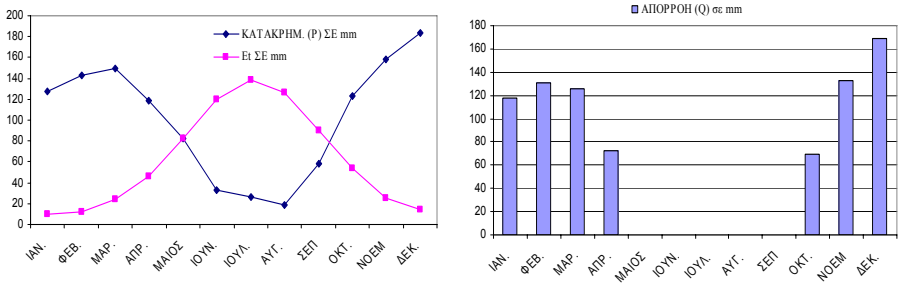
Για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκε η «μέθοδος του Thorntwaite». Η μέθοδος αυτή προτιμήθηκε κυρίως λόγω του γεγονότος ότι το μόνο δεδομένο εισόδου το οποίο απαιτείται είναι οι τιμές θερμοκρασίας.

Οι μέσες μηνιαίες τιμές κατακρημνισμάτων που χρησιμοποιούνται για να βρεθεί η δυνητική εξατμισοδιαπνοή για την λεκάνη απορροής του Σμοκοβίτικη, λαμβάνονται από τον μετεωρολογικό σταθμό των Φουρνών, υψομέτρου 1100 m. Για την λεκάνη απορροής του ταμιευτήρα (Ονόχωνου και Ρεντινιώτη), έχουν ληφθεί υπόψη οι μέσες μηνιαίες τιμές κατακρημνισμάτων από τον μετεωρολογικό σταθμό του Δομοκού, υψομέτρου 615 m.

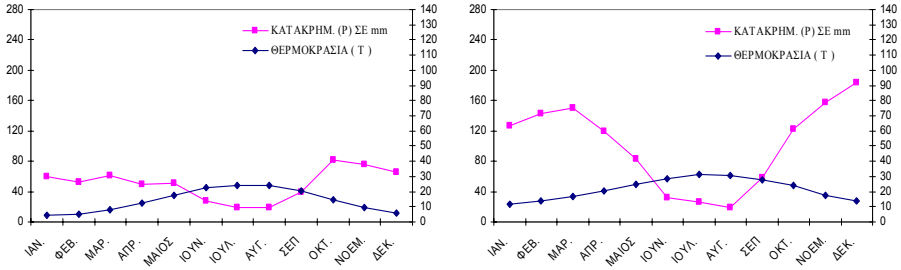
Αφού βρεθεί η δυνητική εξατμισοδιαπνοή στην συνέχεια πολλαπλασιάζεται με έναν συντελεστή που αντιστοιχεί για κάθε μήνα με βάση πίνακα που σχετίζεται με το γεωγραφικό πλάτος της υπό μελέτη περιοχής. Τα αποτελέσματα των υπολογισμών παραθέτονται στα γραφήματα που ακολουθούν.



Σχήμα 6. Μέσα μηνιαία υπερετήσια κατακρημνίσματα και εξατμισοδιαπνοή (Et) (αριστερά),απορροή (Q) σε mm (δεξιά),στην περιοχή του Δομοκού.



Σχήμα 7. Μέσα μηνιαία υπερετήσια κατακρημνίσματα και εξατμισοδιαπνοή (Et) (αριστερά),απορροή (Q) σε mm (δεξιά),στην περιοχή των Φουρνών.



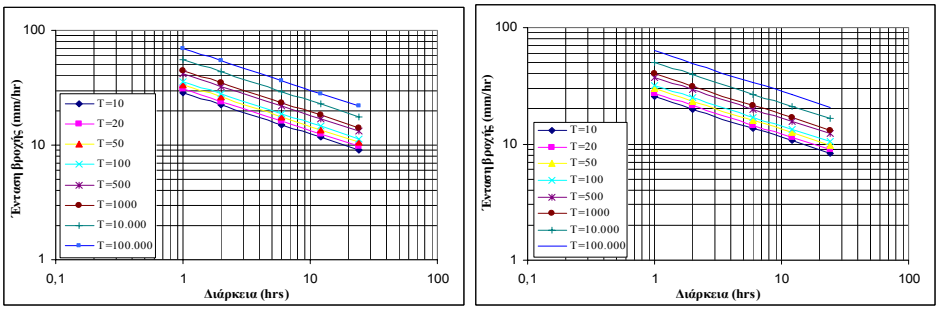
Σχήμα 8. Μέσα μηνιαία υπερετήσια κατακρημνίσματα και θερμοκρασία στην περιοχή του Δομοκού (αριστερά) και στην περιοχή των Φουρνών (δεξιά).

Η συνολική ετήσια βροχόπτωση στη λεκάνη απορροής του Ονόχωνου-Ρεντινιώτη ισούται με 249.998.754m^3 (0,654447 * 382 Km^2 * 10^6) και η συνολική απορροή που καταλήγει τελικώς στον ταμιευτήρα είναι 124.313.496 m^3 (0,325428 * 382 Km^2 *10^6).Η συνολική ετήσια απορροή στην λεκάνη απορροής του Σμοκοβίτικου ισούται με 43.278.860 m^3 (0,366770 *118 Km^2 *10^6).

3.4 Όμβριες καμπύλες

Οι όμβριες καμπύλες που ακολουθούν προέκυψαν από την επεξεργασία των βροχομετρικών στοιχείων των σταθμών της Ανάβρας και της Ρεντίνας. Οι δύο συγκεκριμένοι σταθμοί επιλεχθήκαν από ένα πλήθος άλλων σταθμών, λόγω του ότι διαθέταν πλήρη βροχομετρικά στοιχεία για 30 χρόνια.

(α) (β)



Σχήμα 9. Καμπύλες έντασης-διάρκειας- περιόδου επαναφοράς για τον σταθμό α) της Ανάβρας και β) της Ρεντίνας

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Thornthwaite, C.W., 1948. An approach toward a radiation classification of climate, *Geografical Reviews,* 38(1), pp.55-94.
2. Thornthwaite, C.W., Mather, J.R., 1955. *The water balance,* Publication in Climatology, Laboratory of Climatology, Dresel Institute of Technology, 8(8), pp. 1-104.
3. Alley, W.M., 1985. Water balance models in one-mounth-ahead stream flow forecasting, *Water Resources Research,* 21(4), pp. 597-606.
4. Gabos, A., Gasparri, L., 1983. Monthly runoff model for regional planning, *Water International*, 8, pp. 42-45.
5. Vandewiele, G.L., Win, N.L., 1998. Monthly water balance for 55 basins in 10 Countries, *Hydrological Science Journal*, 43(5), pp. 687-699.
6. Ε.Ε.Δ.Υ.Π, 1995. *Φράγμα Σμοκόβου*.
7. Ε.Μ.Π., 2006. *Διεύρυνση Σεναρίων Διαχείρισης του ταμιευτήρα Σμοκόβου*, Έκθεση δεδομένων.
8. Burroung, P.A., 1986. *Principles of geographical information systems for land resources assessment,* Clarendon Press, Oxford.
9. Παπαμιχαήλ, Δ.Μ., 2001. *Τεχνική υδρολογία επιφανειακών υδάτων,* Εκδόσεις Γιαχούδη-Γιαπούλη, Θεσσαλονίκη.

(140)

ΙΧΝΗΛΑΣΙΜΟΤΗΤΑ ΕΝΤΟΣ ΑΓΡΟΥ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΠΑΡΑΔΟΣΙΑΚΗ ΣΥΓΚΟΜΙΔΗ ΟΠΩΡΟΦΟΡΩΝ ΔΕΝΔΡΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ RFID

Ι.Γ. Αμπατζίδης, Σ.Γ. Βουγιούκας και Δ.Δ. Μπόχτης
Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Γεωπονική Σχολή, Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας, 54124 Θεσσαλονίκη, Email: iampatzi@agro.auth.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εργασία αυτή παρουσιάζεται ένα αυτοματοποιημένο σύστημα ιχνηλασιμότητας εντός αγρού για τον εντοπισμό των κιβωτίων γεμάτων φρούτα και την συσχέτισή τους με τα δέντρα από όπου συγκομίστηκαν. Το σύστημα αυτό δοκιμάστηκε κατά τη διάρκεια προσομοίωσης της παραδοσιακής διαδικασίας συγκομιδής οπωρώνων με τα χέρια. Ένας αναγνώστης RFID τοποθετήθηκε στην πλατφόρμα μεταφοράς ελκυστήρα και παθητικές ετικέτες RFID, οι οποίες περιέχουν μοναδικούς κωδικούς, επικολλήθηκαν στα κιβώτια όπου συλλέγονται οι καρποί και στα δέντρα. Διαπιστώθηκε ότι το προτεινόμενο σύστημα τροποποιεί ελάχιστα την διαδικασία της συγκομιδής χωρίς να επηρεάζει (αυξάνει) το χρόνο της.

IN FIELD TRACEABILITY DURING THE TRADITIONAL FRUIT HARVESTING USING RFID LOCATION TECHNOLOGIES

Y.G. Ampatzidis, S.G. Vougioukas and D.D. Bochtis
Aristotle University of Thessaloniki, Department of Agricultural Engineering, 54124 Thessaloniki, Greece. E-mail: iampatzi@agro.auth.gr

ABSTRACT

In this paper an in-field traceability system is proposed to establish the correspondence between trees and the bins involved in their harvesting. The system is currently under development and some results concerning its accuracy and reliability were evaluated in the field, during a small-scale simulation of fruit harvesting. An RFID reader was mounted at the top of a tractor bed and low cost passive RFID tags were attached permanently to individual trees and bins. It was found that the system did not interfere significantly with the current harvesting procedures, although some changes to the harvesting practice may be required eventually.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οικονομικοί, περιβαλλοντικοί καθώς και λόγοι ασφάλειας των τροφίμων προτάσσουν ένα νέο τρόπο διαχείρισης των αγροκτημάτων που να καταγράφει και να αποτυπώνει όσο το δυνατόν καλύτερα τη μεταβλητότητα των χαρακτηριστικών του εδάφους και της καλλιέργειας τόσο χωρικά όσο και χρονικά (π.χ. γεωργία ακριβείας). Βασικό εργαλείο της γεωργίας ακριβείας είναι η χαρτογράφηση της παραγωγής (yield mapping) και η ιχνηλασιμότητα των προϊόντων εντός αγρού, με όσο τον δυνατόν μεγαλύτερη ακρίβεια, για τον καθορισμό εδαφικών ζωνών με κοινά χαρακτηριστικά, και την ανάπτυξη μεταβλητών καλλιεργητικών φροντίδων σε κάθε ζώνη (π.χ. λίπανση). Με τον όρο «ιχνηλασιμότητα εντός αγρού» εννοούμε όχι τόσο τη δυνατότητα υπολογισμού-μέτρησης της παραγωγής ανά σημείο του αγροκτήματος αλλά τη δυνατότητα ταυτοποίησης των προϊόντων με το συγκεκριμένο σημείο (π.χ. δέντρο) από απ' όπου συγκομίστηκαν. Πολλά συστήματα χαρτογράφησης της παραγωγής έχουν μελετηθεί και εφαρμοστεί κυρίως στα φυτά μεγάλων καλλιεργειών π.χ. βαμβάκι, σιτάρι, ντομάτες ([1], [2], [3]). Στα συστήματα αυτά χρησιμοποιούνται μηχανές συγκομιδής εφοδιασμένες με αισθητήρες μέτρησης της παραγωγής και σύστημα προσδιορισμού θέσης (GPS- Global Positioning System) του οχήματος για τη συσχέτιση παραγωγής και θέσης στο χωράφι. Σε αντίθεση, η συγκομιδή των φρούτων για νωπή κατανάλωση, όπως όλοι οι ευαίσθητοι σε κρούσεις καρποί, πραγματοποιείται κυρίως με εργάτες [4]. Αυτό συμβαίνει γιατί η μηχανική συγκομιδή των φρούτων έχει σοβαρά μειονεκτήματα όπως: υποβάθμιση της ποιότητας, δυσκολία συγκομιδής όλων των καρπών, συγκομιδή ταυτόχρονα ώριμων και άγουρων καρπών κ.α. Επομένως, απαιτείται διαφοροποίηση των παραπάνω μεθόδων για την εφαρμογή τους σε οπωρώνες.

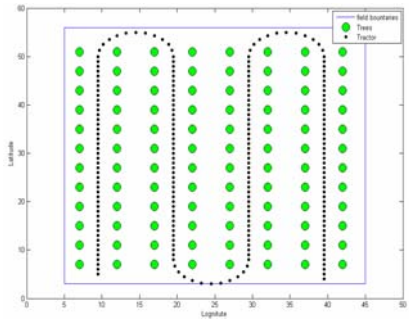
Αρκετά συστήματα έχουν εφαρμοστεί για τη χαρτογράφηση της παραγωγής σε οπωρώνες στο εξωτερικό με ενθαρρυντικά αποτελέσματα ([5], [6], [7], [8]). Εντούτοις, δεν έχουν καταφέρει να ξεπεράσουν προβλήματα όπως: σχετικά χαμηλή ανάλυση χαρτών, μικρή ακρίβεια εντοπισμού της θέσης, πλήρης αυτοματοποίηση διαδικασιών και λανθασμένες ή ελλιπείς μετρήσεις. Όσον αφορά στη χαμηλή ανάλυση χαρτών, οφείλεται στο ότι η παραγωγή από μερικά και όχι από κάθε δέντρο καταγράφεται. Επιπλέον, η χρήση του GPS κάτω από δέντρα με μεγάλη κόμη δίνει σημαντικά σφάλματα στις μετρήσεις του [9]. Τέλος, η εμπλοκή του ανθρώπινου παράγοντα στη διαδικασία της καταγραφής της παραγωγής προκαλεί σοβαρά σφάλματα. Επομένως, απαιτείται ένα αξιόπιστο σύστημα, το οποίο δεν θα βασίζεται σε δειγματοληψία αλλά σε απευθείας μετρήσεις και θα μπορεί να συσχετίσει, με μεγάλη ακρίβεια, τα φρούτα με το δέντρο ή την περιοχή απ΄ όπου συγκομίστηκαν. Επίσης, στο σύστημα αυτό θα πρέπει να εμπλέκεται ελάχιστα ο ανθρώπινος παράγοντας (εργάτες) και να μην επηρεάζεται η κλασική διαδικασία συγκομιδής ή να τροποποιείται όσον το δυνατόν λιγότερο, ώστε να μην αυξάνεται ο χρόνος συγκομιδής.

Στην εργασία αυτή παρουσιάζεται ένα αυτοματοποιημένο σύστημα ιχνηλασιμότητας εντός αγρού, το οποίο ξεπερνάει τους περιορισμούς των προηγουμένων, σε σχέση με τον εντοπισμό των κιβωτίων γεμάτων φρούτα και την συσχέτισή τους με τα δέντρα από όπου συγκομίστηκαν. Στο σύστημα αυτό προτείνεται η επικόλληση φθηνών παθητικών ετικετών RFID (radio frequency identification), τα οποία περιέχουν μοναδικούς κωδικούς, στα κιβώτια και στα δέντρα. Ένα σύστημα ασύρματης αναγνώρισης αντικειμένων, μέσω ραδιοσυχνοτήτων (RFID-reader), το οποίο ανιχνεύει τις παθητικές ετικέτες σε απόσταση μεγαλύτερη των 10 μέτρων και γωνία 60 μοιρών, τοποθετείται στην πλατφόρμα ενός ελκυστήρα. Όταν ο ελκυστήρας κινηθεί στο χωράφι για την συλλογή των γεμάτων καρπούς κιβωτίων, ο RFID-reader ανιχνεύει και καταγράφει τις ετικέτες των κιβωτίων και των δέντρων. Τα δεδομένα αυτά φιλτράρονται και

αποθηκεύονται σε μία βάση δεδομένων, όπου και πραγματοποιείται η συσχέτιση μεταξύ των γεμάτων με φρούτα κιβώτια και δέντρων από όπου συγκομίστηκαν. Τέλος, με τη ζύγιση κάθε κιβωτίου, στον αγρό ή στο συσκευαστήριο, ολοκληρώνεται η χαρτογράφηση της παραγωγής.

2. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΠΑΡΑΔΟΣΙΑΚΗΣ ΣΥΓΚΟΜΙΔΗΣ ΜΕ ΤΑ ΧΕΡΙΑ

Λόγω της διαφορετικής διαμόρφωσης του σχήματος των δένδρων (κύπελο, παλμέττα κ.α.), η διαδικασία της συγκομιδής μπορεί να διαφοροποιείται από καλλιέργεια σε καλλιέργεια. Σε όλες τις περιπτώσεις, οι αποστάσεις μεταξύ των γραμμών είναι τέτοιες ώστε να μπορεί να κινηθεί ένας δενδροκομικός ελκυστήρας μέσα στον οπωρώνα. Έτσι, τα δέντρα σε έναν οπωρώνα φυτεύονται σε σταθερές αποστάσεις από τα γειτονικά τους, σε ένα προκαθορισμένο σχέδιο (grid pattern), το οποίο είναι σταθερό για ένα δεδομένο αγροτεμάχιο. Παραδείγματος χάριν, τα δέντρα οπωρώνων μπορούν να τοποθετηθούν σε διαστήματα 5μ μεταξύ των σειρών και 4 έως 6μ πάνω στη σειρά. Η συγκομιδή των φρούτων πραγματοποιείται σε ένα, δύο ή περισσότερα στάδια (χέρια), ώστε να συλλέγονται μόνο οι ώριμοι καρποί. Κατά την συγκομιδή των καρπών, ένας αριθμός εργατών, εφοδιασμένος με τα κατάλληλα βοηθητικά μέσα (σκάλες, σκαλάκια, κλούβες-τελάρα), συλλέγει τους καρπούς από τα δέντρα. Συνήθως οι καρποί ενός δέντρου συλλέγονται από έναν μόνο εργάτη και τοποθετούνται σε κλούβες (κιβώτια) των 20 kg περίπου. Οι κλούβες αυτές παραμένουν κάτω από τα δένδρα και μετά το τέλος τις συγκομιδής ελκυστήρας με πλατφόρμα μεταφοράς μετακινείται στο χωράφι και οι κλούβες συλλέγονται από εργάτες. Καθώς ο ελκυστήρας κινείται σε μία γραμμή, οι κλούβες συλλέγονται από δύο σειρές δέντρων (*Σχήμα 1*). Πολλές φορές ένας εργάτης συλλέγει τις κλούβες και τις τοποθετεί στο σημείο συγκέντρωσης.



Σχήμα 1. Κίνηση του ελκυστήρα στον οπωρώνα για τη συλλογή των γεμάτων κιβωτίων με φρούτα.

3. ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΣΥΓΚΟΜΙΔΗΣ ΜΕ ΤΑ ΧΕΡΙΑ

Για την ιχνηλασιμότητα των καρπών των οπορωφόρων δέντρων εντός αγρού αλλά και για τη χαρτογράφηση της παραγωγής με μεγάλη ακρίβεια απαιτείται ο εντοπισμός και η καταγραφή της παραγωγής κάθε δέντρου ξεχωριστά (ή μικρής ομάδας δέντρων). Ως εκ τούτου, είναι απαραίτητο να υπολογιστεί η γεωγραφική θέση κάθε δέντρου και η συσχέτιση μεταξύ δέντρου και όλων των κιβωτίων που περιέχουν τα συγκομισμένα φρούτα του. Παρακάτω, αναλύεται η μαθηματική διατύπωση του προβλήματος της ιχνηλασιμότητας προϊόντων εντός αγρού και της χαρτογράφησης της παραγωγής,

δηλαδή της συσχέτισης δέντρου-κιβωτίων, τα οποία θα χρησιμοποιηθούν στη μεθοδολογία μας [10].

Θεωρούμε *M* τον αριθμό των δέντρων σε ένα αγροτεμάχιο (οπωρώνα) *h*. Σε κάθε δέντρο δίνετε ένας μοναδικός κωδικός (ID) m_j ($1 \le j \le M$). Η γεωγραφική θέση (UTM) του κάθε δέντρου (x_{m_j}, y_{m_j}) με κωδικό m_j μπορεί εύκολα να υπολογιστεί και επομένως να δημιουργηθεί ένας πίνακας (ή μία βάση δεδομένων) **L** ο οποίος θα περιέχει τον κωδικό (ID) του κάθε δέντρου και τη γεωγραφική του θέση $(x_{m_j}, y_{m_j}) = \mathbf{L}(m_j)$.

Επίσης, ας θεωρήσουμε *B* τον συνολικό αριθμό των κιβωτίων που θα χρησιμοποιηθούν για την συγκομιδή του αγροτεμαχίου *h*. Σε κάθε κιβώτιο δίνεται ένας μοναδικός κωδικός l_q, ($1 \le q \le B$). Έτσι, δημιουργείτε ένα σύνολο $\mathbf{Q} = \{l_q : 1 \le q \le B\}$ που περιέχει τους κωδικούς των διαθέσιμων κιβωτίων στα οποία οι εργάτες θα τοποθετήσουν τους συγκομιζόμενους καρπούς. Ακόμα, θέτουμε $w(l_q)$ το βάρος (kg) των καρπών που τοποθετούνται στο κάθε κιβώτιο l_q.

Κατά τη διαδικασία της συγκομιδής, στο στάδιο συγκομιδής (χέρι) *k*, κάθε δένδρο με κωδικό m_j, συγκομίζεται από έναν εργάτη ο οποίος τοποθετεί τους καρπούς σε έναν αριθμό κιβωτίων. Έτσι, σε κάθε δέντρο αντιστοιχεί ένας αριθμός κιβωτίων (γεμάτων με καρπούς). Επομένως, δημιουργείται ένα σύνολο κιβωτίων $\mathbf{V}(m_j, k)$, που αντιστοιχεί σε κάθε δέντρο, το οποίο περιέχει τους κωδικούς των κιβωτίων. Εάν αυτό το σύνολο, δηλαδή η συσχέτιση δέντρου m_j-κιβωτίων, καθοριστεί, η παραγωγή (απόδοση) $p(m_j,k)$ για το συγκεκριμένο στάδιο (χέρι) *k*, μπορεί να υπολογιστεί από τη σχέση:

$$p(m_j, k) = \sum_{l_q \in V(m_j,k)} w(l_q) \qquad (10)$$

Η συνολική παραγωγή του κάθε δέντρου μπορεί να γραφεί ως: $p(m_j) = p(m_j, 1) + p(m_j, k) + \ldots p(m_j, S)$, όπου *S* είναι ο συνολικός αριθμός των σταδίων (χέρια) συγκομιδής (π.χ. S=2 ή 3 χέρια). Τέλος η συνολική παραγωγή P_h του αγροτεμαχίου *h*, δίνετε από τη σχέση:

$$P_h = \sum_{j=1}^{M} p(m_j) = \sum_{j=1}^{M} \sum_{k=1}^{S} p(m_j, k) = \sum_{j=1}^{M} \sum_{k=1}^{S} \sum_{l_q \in V(m_j,k)} w(l_q) \qquad (11)$$

Επομένως το συνολικό πρόβλημα μπορεί να διατυπωθεί ως εξής: κατά τη διάρκεια κάθε σταδίου συγκομιδής *k*, ανιχνεύουμε τον κωδικό κάθε δέντρου m_j, βρίσκουμε τις γεωγραφικές του συντεταγμένες $\mathbf{L}(\mathrm{m_j})$, εντοπίζουμε (συσχετίζουμε) το σύνολο των κιβωτίων $\mathbf{V}(m_j, k)$ που περιέχουν τους καρπούς του και ζυγίζουμε το κάθε κιβώτιο $l_q \in \mathbf{V}(m_j, k)$ που ανήκει σε αυτό το σύνολο ώστε να υπολογίσουμε την παραγωγή του δέντρου $p(m_j,k)$.

3. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Το πρόβλημα της συσχέτισης των γεμάτων φρούτων κιβωτίων με τα αντίστοιχα δέντρα από όπου συγκομίστηκαν τα φρούτα καθώς και το πρόβλημα του προσδιορισμού της γεωγραφικής θέσης των κιβωτίων μπορεί να επιλυθεί με δύο μεθόδους. Στην πρώτη χρησιμοποιείται συνδυασμός ενός συστήματος RFID και DGPS, ενώ στη δεύτερη το πρόβλημα επιλύεται με τη χρήση μόνο του συστήματος RFID. Στην παρούσα εργασία αναλύεται μόνο η δεύτερη μέθοδος (περισσότερα για τη $1^{η}$ μέθοδο στην [10]). Λόγω

ορισμένων τεχνικών περιορισμών του συστήματος RFID, που θα περιγραφούν αργότερα, οι προτεινόμενες μέθοδοι μπορούν να λύσουν το παραπάνω πρόβλημα μόνο για ζεύγη δέντρων, και όχι για μεμονωμένα δέντρα. Η σημαντικότερη υπόθεση και των δύο μεθόδων είναι ότι μετά τη συλλογή των καρπών από τα δέντρα και τη τοποθέτησή τους σε κιβώτια, απαιτείται η απόθεση των κιβωτίων κοντά στον κορμό του αντίστοιχου δέντρου και όχι σε μεγαλύτερες αποστάσεις, διαφορετικά ο συσχετισμός μεταξύ των κιβωτίων και του δέντρου θα είναι ανακριβής.

Στην εργασία αυτή χρησιμοποιήθηκε ένα σύστημα ασύρματης αναγνώρισης αντικειμένων, μέσω ραδιοσυχνοτήτων (RFID-reader), το οποίο ανιχνεύει τις ταυτότητες παθητικών ετικετών RFID και προσδιορίζει τη θέση τους, από την εταιρία Trolley Scan Company™, Νότια Αφρική. Το σύστημα αυτό λειτουργεί στις UHF συχνότητες (869.5 με 869.7Mhz) και είναι σε θέση να ανιχνεύσει τις ταυτότητες των παθητικών αναμεταδοτών (ετικετών) και να υπολογίσει τη θέση τους σε απόσταση μεγαλύτερη των 10 μέτρων (10-13 m) και γωνία 60 μοιρών (οι συμβατικοί αναγνώστες RFID ανιχνεύουν τις παθητικές ετικέτες σε πολύ μικρότερες αποστάσεις). Ο αναγνώστης RFID τοποθετήθηκε στη πλατφόρμα του ελκυστήρα και προγραμματίστηκε να λειτουργεί με τέτοιο τρόπο ώστε να ανιχνεύει μόνο τις ετικέτες που εισέρχονται στην περιοχή αναγνώρισής του για πρώτη φορά (αναφερόμενες ως *νέες* ετικέτες). Επίσης, χρησιμοποιήθηκε ένα διαφορικό AgGPS 106 (DGPS), από την Trimble, μόνο για τον υπολογισμό των γεωγραφικών θέσεων (σε UTM) του ελκυστήρα (*Σχήμα 2α*) για σκοπούς καλύτερης παρουσίασης των αποτελεσμάτων. Τα δεδομένα από τον αναγνώστη RFID και το DGPS φιλτράρονται και αποθηκεύονται αυτόματα σε μία βάση δεδομένων, μέσω σειριακής επικοινωνίας (RS232) με φορητό ηλεκτρονικό υπολογιστή.

Σχήμα 2. α) Σύστημα ασύρματης αναγνώρισης αντικειμένων, μέσω ραδιοσυχνοτήτων RFID και διαφορικό AgGPS 106 (DGPS). β) Παθητικές ετικέτες RFID τοποθετημένες σε κιβώτιο-κλούβα.

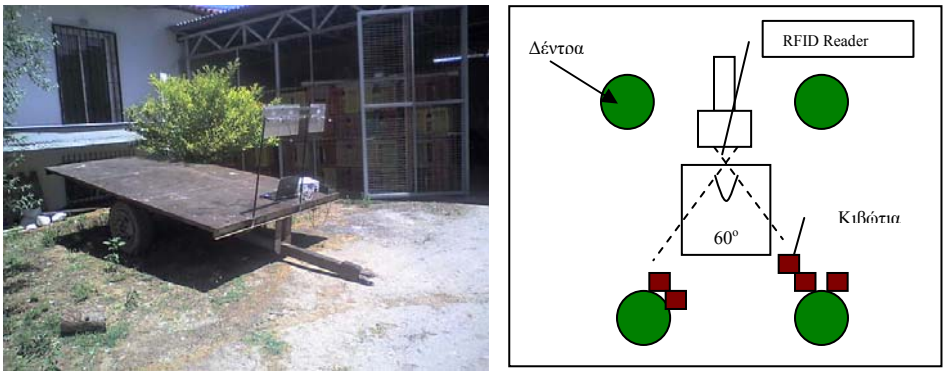
3.1. Σύστημα ιχνηλασιμότητας εντός αγρού με χρήση RFID

Στη μέθοδο αυτή χρησιμοποιείται ένα σύστημα RFID (ένας αναγνώστης-ραντάρ RFID και παθητικές ετικέτες RFID). Αυτή η μέθοδος είναι κατάλληλη για οπωρώνες με σχετικά μεγάλα δέντρα με μεγάλη επιφάνεια φυλλώματος (κόμη) όπου τα δεδομένα από το DGPS είναι ασυνεχή και χαμηλής ακρίβειας. Σε αντίθετη περίπτωση, δηλαδή σε χαμηλά δέντρα, όπου οι μετρήσεις του DGPS είναι συνεχόμενες και ακριβείς προτείνεται η συνδυασμένη χρήση συστήματος RFID και GPS (η μέθοδος αυτή περιγράφεται στην [10]). Στην παρούσα μεθοδολογία, όπου χρησιμοποιείται μόνο το σύστημα RFID, προτείνεται η επικόλληση παθητικών ετικετών, τα οποία περιέχουν μοναδικούς κωδικούς, σε κάθε κιβώτιο (*Σχήμα 2.β*) και στα δέντρα ώστε να επιτυγχάνεται η συσχέτιση μεταξύ κιβωτίων γεμάτων με φρούτα και δέντρου από όπου συγκομίστηκαν χωρίς τη χρήση του GPS. Ο αναγνώστης-ραντάρ RFID (RFID-reader) τοποθετείται στην πλατφόρμα μεταφοράς του ελκυστήρα (*Σχήμα 3α*).

3.1.1 Περιγραφή Μεθοδολογίας

Κατά τη διαδικασία της συγκομιδής οι καρποί συλλέγονται από τα δέντρα σε κιβώτια τα οποία τοποθετούνται κοντά στους κορμούς των ίδιων δέντρων. Στο τέλος, ελκυστήρας με πλατφόρμα μεταφοράς μετακινείται σε μία γραμμή, και οι κλούβες συλλέγονται από εργάτες. Κάθε φορά τα κιβώτια συλλέγονται από δύο δέντρα, αριστερά και δεξιά της πλατφόρμας και για το λόγω αυτό η συσχέτιση πραγματοποιείται μεταξύ κιβωτίων γεμάτων με φρούτα και δύο δέντρων από όπου συγκομίστηκαν. Ο αναγνώστης RFID προγραμματίστηκε να λειτουργεί με τέτοιο τρόπο ώστε να ανιχνεύει μόνο τις νέες ετικέτες που εισέρχονται στην περιοχή αναγνώρισής του (γωνία 60° από τις κεραίες) για πρώτη φορά. Ακόμα κι αν ο αναγνώστης RFID δεν μπορέσει να ανιχνεύσει ένα κιβώτιο που είναι εκτός από την περιοχή αναγνώρισής των κεραιών του (κώνος 60°) θα το καταγράψει όταν το φορτώσουν οι εργάτες στη πλατφόρμα μεταφοράς, η οποία βρίσκεται μέσα στη ζώνη των 60° μοιρών (*Σχήμα 3β*). Επειδή ο αναγνώστης RFID ανιχνεύει όλες τις νέες ετικέτες οι οποίες βρίσκονται στην περιοχή αναγνώρισής του δεν μπορεί να διευκρινιστεί εάν τα κιβώτια προέρχονται από το αριστερό ή το δεξιό δέντρο και επομένως η συσχέτιση πραγματοποιείται μεταξύ κιβωτίων και ζευγάρια δέντρων από όπου συγκομίστηκαν. Στη συνέχεια αφού συλλεκτούν τα κιβώτια από μία γραμμή ο ελκυστήρας προσπερνάει την επόμενη και μετακινείται στην μεθεπόμενη γραμμή (*Σχήμα 1*).

Τυπικά, ο ελκυστήρας σταματά μερικά μέτρα μετά από κάθε ζευγάρι δέντρων, έτσι ώστε τα κιβώτια να μπορούν να φορτωθούν στην πλατφόρμα. Ο αναγνώστης RFID καταγράφει τις ετικέτες των κιβωτίων που βρίσκονται γύρω από τα δύο δέντρα (IDs των κιβωτίων), τα IDs των δέντρων και το χρόνο. Δεδομένου ότι έχουν τοποθετηθεί ετικέτες RFID στα δέντρα η συσχέτιση μεταξύ ζεύγους δέντρων και κιβωτίων πραγματοποιείται αυτόματα. Η καταγραφή του χρόνου συγκομιδής (ημέρα, ώρα) είναι μεγάλης σημασίας, γιατί η ώρα συγκομιδής των προϊόντων επηρεάζει και την ποιότητά τους [11]. Εάν υπολογιστεί το βάρος κάθε κιβωτίου [$w(l_q)$] η παραγωγή $p(m_{ij},k)$ για κάθε ζευγάρι δέντρων m_i, m_j μπορεί να υπολογιστεί χρησιμοποιώντας τον τύπο (1).



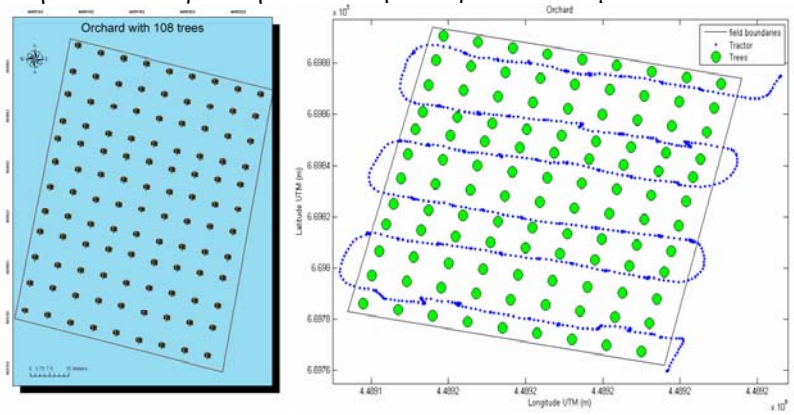
Σχήμα 3. α)Τοποθέτηση του αναγνώστης RFID στην πλατφόρμα μεταφοράς του ελκυστήρα, β) Περιοχή αναγνώρισης του ανιχνευτή RFID.

4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Η παραπάνω μεθοδολογία εφαρμόστηκε σε οπωρώνα κατά τη διάρκεια προσομοίωσης της διαδικασίας συγκομιδής (εικονικής συγκομιδής). Τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν σε οπωρώνα του αγροκτήματος της Γεωπονικής σχολής του Α.Π.Θ. που περιέχει 108 δέντρα διάφορων ειδών (π.χ. ροδακινιές, δαμασκηνιές κ.α.)

τοποθετημένα σε 12 γραμμές με 9 δέντρα πάνω σε κάθε γραμμή (*Σχήμα 4α*). Πρώτα, χρησιμοποιήθηκε ένα DGPS, το οποίο τοποθετήθηκε σε σωλήνα 3 μέτρων, για την καταγραφή των γεωγραφικές θέσεων (UTM) των τεσσάρων δέντρων στα άκρα του αγροτεμαχίου. Στη συνέχεια, υπολογίστηκαν οι θέσεις όλων των δέντρων, αφού οι αποστάσεις μεταξύ γραμμών και σειρών είναι σταθερές, και σχεδιάστηκε ο χάρτης του οπωρώνα. Η απόσταση καταγραφής του ανιχνευτή RFID προγραμματίστηκε <10m.

Ο αναγνώστης-ραντάρ RFID τοποθετήθηκε στην πλατφόρμα μεταφοράς του ελκυστήρα μαζί με ένα DGPS, το οποίο χρησιμοποιήθηκε μόνο για να καταγράψει την πορεία του οχήματος, για λόγους καλύτερης παρουσίασης των αποτελεσμάτων και όχι για να βοηθήσει στη συσχέτιση δέντρου-κιβωτίων. Παθητικές ετικέτες RFID, οι οποίες περιέχουν μοναδικούς κωδικούς, επικολλήθηκαν στα κιβώτια και στα δέντρα. Στο *Σχήμα 4β* παρουσιάζετε η κίνηση του ελκυστήρα (στικτή μπλε γραμμή) κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης της διαδικασίας συγκομιδής. Όταν ο ελκυστήρας σταματάει μπροστά από ένα ζευγάρι δέντρων (πυκνά μπλε σημεία), για να συλλέχθούν τα κιβώτια, ο αναγνώστης RFID καταγράφει τις νέες ετικέτες των κιβωτίων και του ζεύγους των δέντρων και συγχρόνως το GPS καταγράφει τη θέση. Ο συσχετισμός μεταξύ των δέντρων και των κιβωτίων υπολογίστηκε αυτόματα, αφού οι κωδικοί του ζεύγους των δέντρων και των αντίστοιχων κιβωτίων ανιχνεύτηκαν σε κοντινούς χρόνους. Ο αναγνώστης κατέγραψε όλες τις ετικέτες των κιβωτίων και των δέντρων χωρίς να παρουσιαστεί λάθος μέτρηση. Μοναδικό πρόβλημα παρουσιάζεται όταν οι ετικέτες είναι προσανατολισμένες κατά μήκος του άξονα καταγραφής του αναγνώστη (της κεραίας) με αποτέλεσμα να μην μπορούν να ανιχνευτούν. Το πρόβλημα αυτό - λόγω του προσανατολισμού - μπορεί να λυθεί με δύο τρόπους. Πρώτον, να κληθούν οι εργάτες να αφήσουν τα κιβώτια στο έδαφος έτσι ώστε η πλευρά με την ετικέτα να μην βρίσκεται κατά μήκος της σειράς. Φυσικά αυτό δεν είναι αρκετά εύκολο να πραγματοποιηθεί. Εναλλακτικά, δεδομένου ότι οι παθητικές ετικέτες είναι φτηνές, δύο ετικέτες μπορούν να τοποθετηθούν στις δύο μεγάλες απέναντι πλευρές του κιβωτίου έτσι ώστε όταν οι εργάτες τοποθετήσουν τα κιβώτια στην πλατφόρμα τουλάχιστον μια ετικέτα RFID να είναι ορατή από τον αναγνώστη σε οποιοδήποτε προσανατολισμό.



Σχήμα 4. α) Οπωρώνας αγροκτήματος Α.Π.Θ. με 108 δέντρα, β)Κίνηση του ελκυστήρα κατά τη διαδικασία συλλογής των γεμάτων φρούτων κιβωτίων.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ένα σύστημα ιχνηλασιμότητας εντός αγρού με χρήση RFID δοκιμάστηκε κατά τη διάρκεια προσομοίωσης της παραδοσιακής διαδικασίας συγκομιδής οπωρώνων με τα χέρια. Ένας αναγνώστης-ραντάρ RFID τοποθετήθηκε στην πλατφόρμα μεταφοράς

ελκυστήρα και παθητικές ετικέτες RFID, οι οποίες περιέχουν μοναδικούς κωδικούς, επικολλήθηκαν στα κιβώτια όπου συλλέγονται οι καρποί και στα δέντρα. Καθώς ο ελκυστήρας κινήθηκε στον οπωρώνα για τη συλλογή των γεμάτων φρούτων κιβωτίων ο αναγνώστης κατέγραψε τους κωδικούς των κιβωτίων και των δέντρων με αποτέλεσμα να πραγματοποιηθεί αυτόματα η συσχέτιση μεταξύ των γεμάτων φρούτων κιβωτίων και του ζεύγους δέντρων από όπου συγκομίστηκαν. Εάν υπολογιστεί το βάρος κάθε κιβωτίου, στον αγρό ή στο συσκευαστήριο, ολοκληρώνεται η χαρτογράφηση της παραγωγής. Τέλος, διαπιστώθηκε ότι το προτεινόμενο σύστημα τροποποιεί ελάχιστα την διαδικασία της συγκομιδής χωρίς να επηρεάζει (αυξάνει) το χρόνο της.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Lee, W.S., Burks, T.F. and Schueller, J.K., 2002. Silage yield monitoring system. ASAE Paper No. 021165. ASAE, St. Joseph, MI, USA
2. Markinos, Ath., Toulios, L., Pateras, D., Zerva, G. and Gemtos, A.T., 2003. A precision farming application in cotton in the small farms of Greece. In: Proceedings of the 4th European Conference on Precision Agriculture, J V Stafford & A Werner Eds. Wageningen Academic Publishers, The Netherlands, pp. 489-490.
3. Pelletier, G. and Upadhyaya, S.K., 1999. Development of a tomato load/yield monitor. Computers and Electronics in Agriculture 23(2): 103-118.
4. Τσατσαρέλης, Κ.Α., 2003. Μηχανική συγκομιδή γεωργικών προϊόντων. Εκδόσεις Διαχούδη-Γιαπούλη, Θεσσαλονίκη.
5. Salehi, F., Whitney, J.D., Miller, W.M., Wheaton, T.A. and Drouillard, G., 2000. An automatic triggering system for a citrus yield monitor. ASAE Paper No. 001130. ASAE, St. Joseph, MI, USA.
6. Schueller, J.K., Whitney, J.D., Wheaton, T.A., Miller, W.M. and Turner, A.E., 1999. Low–cost automatic yield mapping in hand–harvested citrus. Computers and Electronics in Agriculture 23(2): 145–154.
7. Whitney, J.D., Ling, Q., Wheaton, T.A. and Miller, W.M., 1999. A DGPS yield monitoring system for Florida citrus. Applied Engineering in Agriculture 17(2): 115–119.
8. Whitney, J.D., Miller, W.M., Wheaton, T.A., Salyani, M. and Schueller, J.K., 1999. Precision farming applications in Florida citrus. Applied Engineering in Agriculture 15(5): 399–403.
9. Heidman, B.C. and Rosa, U.A. 2005. Integration of sensor data and orchard layout characteristics for real time tree detection. ASAE Paper number: 051071.ASAE, St Joseph, MI, USA.
10. Ampatzidis, Y., Vougioukas, S., Bochtis, D. and Tsatsarelis, C., 2007. A yield mapping system for hand-harvested fruits based on RFID and GPS location technologies. In: Proceedings at the 6th ECPA Conference (European Conference on Precision Agriculture), Skiathos, Greece, 3-6 June 2007.
11. Thai, C.N. and Shewfelt, R.L. 1991. Modeling sensory color quality of tomato and peach: neural networks and statistical regression. Transactions of ASAE, Vol. 34, No. 3, pp. 950-955.

(149)

ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ ΣΤΟΥΣ ΕΠΙΤΟΠΙΟΥΣ ΕΛΕΓΧΟΥΣ ΤΗΣ ΕΝΙΑΙΑΣ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΣΤΗΝ ΤΗΝΟ

Ν. Μαλάμος[1], Γ. Παγανέλης[1]
[1]Νομαρχιακή Αυτοδιοίκηση Κυκλάδων, Τμήμα Αγροτικής Ανάπτυξης Τήνου.
Ηλία Γάφου 30, Τήνος, 84200, e-mail: nmalamos@hydro.ntua.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι επιτόπιοι έλεγχοι των αγροτεμαχίων που δηλώνονται από τους παραγωγούς στην αίτηση για Ενιαία Ενίσχυση, είναι υποχρεωτικοί στα πλαίσια της νέας Κ.Α.Π.. Η μεθοδολογία που χρησιμοποιείται για τον επιτόπιο έλεγχο των αγροτεμαχίων δεν διαφοροποιείται για περιοχές ορεινές, βραχώδεις και δύσβατες όπως η Τήνος. Η μεθοδολογία που προτείνεται εστιάζει στην ψηφιοποίηση των ορίων των αγροτεμαχίων, με τη χρήση G.I.S. σε συνδυασμό με τον εντοπισμό τους μέσω G.P.S.. Η εφαρμογή έγινε στο νησί της Τήνου, αυξάνοντας την ακρίβεια και την αξιοπιστία των ελέγχων και δίνοντας τη δυνατότητα χρήσης των διαθέσιμων στοιχείων και σε άλλα εφαρμοζόμενα καθεστώτα.

IMPLEMENTATION OF GIS, FOR THE E.U. SINGLE PAYMENT SCHEME "ON-THE-SPOT" CHECKS, IN TINOS ISLAND

N. Malamos[1], G. Paganelis[1]
[1]Perfecture of Cyclades, Department of Agricultural Development of Tinos. Ilia Gafou 30, Tinos, 84200, e-mail: nmalamos@hydro.ntua.gr

ABSTRACT

The "on-the-spot" checks of the agricultural parcels declared by the farmers in their application are obligatory for the Single Payment Scheme of the new Common Agriculture Policy. The current methodology takes no consideration of the mountainous, inaccessible, rocky areas of Tinos Island. The proposed methodology focuses to the digitization of the agricultural parcels boundaries, using G.I.S. in combination with a G.P.S. for locating their position. The methodology was applied in Tinos Island, increasing the accuracy and the reliability of controls and providing the ability of using the available data to other aid schemes.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Από 1-1-2006 [1] άρχισε να εφαρμόζεται η νέα Ενιαία Αποσυνδεδεμένη Ενίσχυση στα πλαίσια της νέας Κ.Α.Π.. Η ενοποίηση παλαιών ενισχύσεων όπως αυτές των αροτραίων καλλιεργειών, του ρυζιού, των αιγοπροβάτων, του βοείου κρέατος, του καπνού, του βαμβακιού και του ελαιολάδου απλοποίησε το σύστημα για τους παραγωγούς και αποσύνδεσε τις ποσότητες και το είδος της παραγωγής. Η Ελλάδα είναι «υποχρεωμένη» από την Ευρωπαϊκή Ένωση να εντοπίζει, με επιτόπιους ελέγχους, το 100% των αγροτεμαχίων των διάφορων καθεστώτων καλλιεργειών, σε ορθοφωτοχάρτες και διαφάνειες. Αποδεκτές μέθοδοι μέτρησης είναι αυτές που εφαρμόζονται με τη χρήση G.P.S., μετροταινίας, μέτρησης στον ορθοφωτοχάρτη, total station E.D.M. ή άλλων οργάνων και μεθόδων αποδεκτής ακρίβειας με βάση τους κοινοτικούς κανονισμούς.

Διεθνώς αλλά και στην Ελλάδα, μέθοδοι που συνδυάζουν χρήση τηλεπισκόπησης, G.I.S. και G.P.S., έχουν χρησιμοποιηθεί για έλεγχους εκτάσεων [2], για εκτίμηση ζημιών σε καλλιέργειες [3] και προσδιορισμό της διάβρωσης γεωργικών εκτάσεων με μεγάλη κλίση [4].

Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε κατά τους επιτόπιους ελέγχους στην Τήνο βασίστηκε στην χρήση G.I.S., σε συνδυασμό με τον εντοπισμό των αγροτεμαχίων μέσω G.P.S. και την μορφολογία του γεωφυσικού περιβάλλοντος.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

2.1 Υλικά

Οι ορθοφωτοχάρτες που χρησιμοποιήθηκαν ήταν της Δ/νσης Τοπογραφικής του Υπουργείου Γεωργίας σε κλίμακα 1:5000, φωτοληψίας 1998, σε σύστημα συντεταγμένων Ε.Γ.Σ.Α. 1987. Οι διαφάνειες, που περιείχαν τις ενότητες και τα διαγράμματα των αγροτεμαχίων, του Συστήματος Γεωγραφικών Πληροφοριών στον Ελαιοκομικό τομέα και του Αμπελουργικού Μητρώου του Νομού Κυκλάδων, ήταν της Δ/νσης Τοπογραφικής του ΥΠ.Α.Α.Τ. σε κλίμακα 1:5000, με ημερομηνία σύνταξης το Δεκέμβριο 2003, ενώ οι διαφάνειες με τις ενότητες και τα διαγράμματα των υπολοίπων αγροτεμαχίων του Ο.Σ.Δ.Ε. του Νομού Κυκλάδων, ήταν της Δ/νσης Τοπογραφικής του ΥΠ.Α.Α.Τ. σε κλίμακα 1:5000 με ημερομηνία σύνταξης τον Μάιο 2004.

Το σύστημα εντοπισμού γεωγραφικής θέσης (G.P.S.) αποτελούνταν από το όργανο G.P.S. eTrex® Legend Cx της εταιρίας GARMIN με ακρίβεια από 3 έως 15 μέτρα και χρόνο συντονισμού τουλάχιστον 45 δευτερόλεπτα και από λογισμικό με το οποίο ήταν δυνατή η μεταφορά των δεδομένων του οργάνου στον υπολογιστή σε μορφή που μπορούσε να αξιοποιηθεί στην μεθοδολογία επιτόπιων ελέγχων που περιγράφεται παρακάτω [5].

Ως αποδεκτή ανοχή μέτρησης για κάθε αγροτεμάχιο, καθορίζεται η μεγαλύτερη τιμή μεταξύ του 5% της μετρούμενης έκτασης αυτού και της έκτασης μιας ζώνης πλάτους 1,5 μέτρου και μήκους όση η περίμετρος του αγροτεμαχίου, η οποία ωστόσο, δεν πρέπει να υπερβαίνει, σε απόλυτες τιμές, το ένα εκτάριο. Για την μέθοδο μέτρησης με G.P.S. ανεξαρτήτως εμβαδού η ανοχή ορίζεται στο 5% [6].

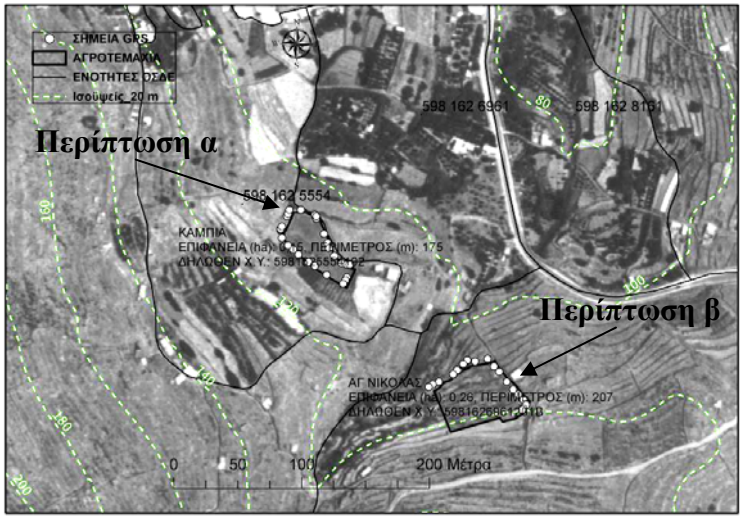
2.2 Μεθοδολογία που εφαρμόστηκε στην Τήνο

Η μεθοδολογία βασίστηκε στην χρήση συστήματος γεωγραφικών πληροφοριών (G.I.S.), σε συνδυασμό με τον εντοπισμό των αγροτεμαχίων μέσω του συστήματος εντοπισμού γεωγραφικής θέσης (G.P.S.) και την μορφολογία του γεωφυσικού περιβάλλοντος, όπως μονοπάτια, δρόμοι, κτίσματα, ρέματα κλπ.

Διακρίνονται τρεις περιπτώσεις ανάλογα με την ευκολία αποτύπωσης της περιμέτρου των αγροτεμαχίων:

α) Στην περίπτωση αγροτεμάχιων που τα όριά τους είναι ευπρόσιτα, τότε πραγματοποιείται αποτύπωση της περιμέτρου και στη συνέχεια γίνεται ψηφιοποίηση με βάση τους ορθοφωτοχάρτες στους οποίους εντοπίζονται τα αγροτεμάχια με την βοήθεια των δεδομένων του G.P.S. (*Σχήμα 15*).

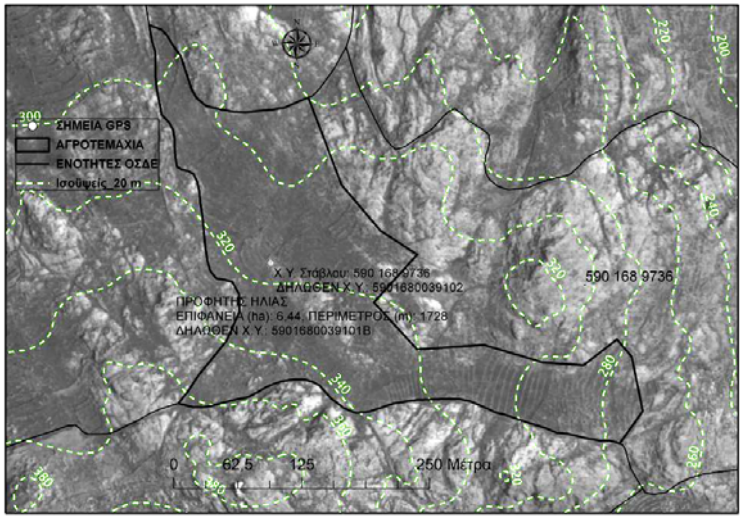
β) Όταν δεν είναι δυνατή η αποτύπωση της περιμέτρου λόγου αδυναμίας πρόσβασης στα όρια του αγροτεμάχιου, τότε αρχικά λαμβάνονται όσον το δυνατόν περισσότερα χαρακτηριστικά σημεία με το G.P.S. όπως γωνίες, στάβλοι και σχεδιάζεται σκαρίφημα ή λαμβάνονται φωτογραφίες για τα δυσπρόσιτα τμήματα. Στη συνέχεια, γίνεται ψηφιοποίηση με βάση τους ορθοφωτοχάρτες στους οποίους εντοπίζονται τα αγροτεμάχια με την βοήθεια όλων των παραπάνω στοιχείων (*Σχήμα 15*).



Σχήμα 15. Επιτόπιος έλεγχος με χρήση G.P.S. και G.I.S. (Περιπτώσεις α, β)

γ) Όταν είναι αδύνατη η πρόσβαση και το αγροτεμάχιο είναι πολύ μεγάλο οπότε δεν είναι δυνατή η λήψη χαρακτηριστικών σημείων και λοιπών στοιχείων, κυρίως στις περιπτώσεις ορεινών βοσκοτόπων, τότε ο παραγωγός υποδεικνύει τα όρια, βάσει των ορθοφωτοχαρτών, στην οθόνη του ηλεκτρονικού υπολογιστή (*Σχήμα 16*).

Μετά την ψηφιοποίηση των αγροτεμαχίων γίνεται εμβαδομέτρηση, υπολογισμός της περιμέτρου και αντιπαραβολή με το δηλωθέν χαρτογραφικό υπόβαθρο, ενώ εισάγονται στη βάση δεδομένων, εκτός από τα παραπάνω στοιχεία, πληροφορίες για τα αγροτεμάχια όπως η τοποθεσία και η καλλιέργεια. Στη συνέχεια, εκτυπώνεται το αγροτεμάχιο και η ενότητα στην οποία ανήκει, σε κλίμακα 1:5000, με τις συντεταγμένες μιας κορυφής του. Με αυτόν τον τρόπο είναι δυνατή η αντιπαραβολή με την διαφάνεια της Δ/νσης Τοπογραφικής του ΥΠ.Α.Α.Τ. στην οποία είχε αποτυπωθεί το αγροτεμάχιο αρχικά, ώστε να μπορέσουν να γίνουν οι κατάλληλες διορθώσεις. Σημειωτέον, ότι στο πρακτικό ελέγχου επισυνάπτεται φωτοαντίγραφο του αντίστοιχου τμήματος της διαφάνειας. Η ανωτέρω μεθοδολογία εφαρμόστηκε για όλα τα ελεγχθέντα αγροτεμάχια.



Σχήμα 16. Επιτόπιος έλεγχος με χρήση G.P.S. και G.I.S. (Περίπτωση γ)

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Στα πλαίσια της Ενιαίας Ενίσχυσης 2006 ελέγχθηκαν από το Τμήμα Αγροτικής Ανάπτυξης Τήνου 26 παραγωγοί. Ο έλεγχος ολοκληρώθηκε στους 25, διότι υπήρξε μία περίπτωση άρνησης ελέγχου η οποία δεν συμπεριλήφθηκε στα αποτελέσματα. Στον *Πίνακα 14* παρουσιάζονται ο αριθμός των αγροτεμαχίων που δηλώθηκαν από τους παραγωγούς και ο αριθμός που τελικά ελέγχθηκε καθώς και η αντίστοιχη έκταση βάσει των τίτλων ιδιοκτησίας. Ο έλεγχος πραγματοποιήθηκε σε ποσοστό μεγαλύτερο από το 50% του αριθμού των δηλωθέντων αγροτεμαχίων.

Πίνακας 14. Συγκεντρωτικά στοιχεία ελέγχων Ενιαίας Ενίσχυσης 2006

	Έλεγχος	Σύνολο
Αριθμός Αγροτεμαχίων	127	212
Έκταση βάσει τίτλου (εκτάρια)	71,35	242,86

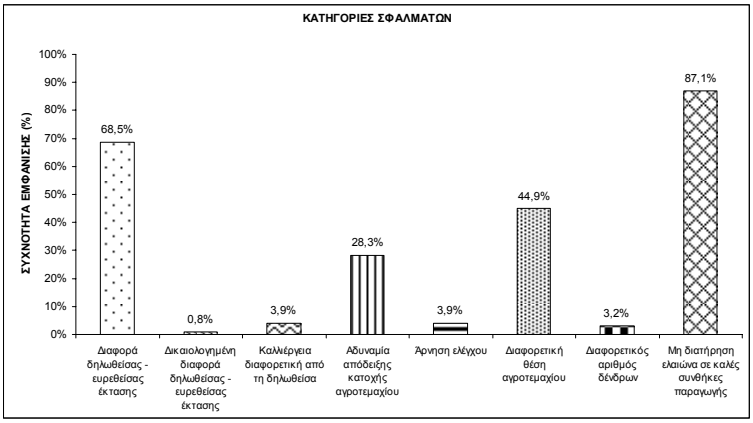
Στον *Πίνακα 15* παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα των επιτόπιων ελέγχων, μαζί με το σύνολο των εκτάσεων και των ελαιόδεντρων που δήλωσαν οι παραγωγοί. Στην τελευταία στήλη παρουσιάζονται οι εκτάσεις που τελικά εγκρίνονται μετά την ενσωμάτωση των εκτάσεων και των ελαιόδεντρων των υπολοίπων αγροτεμαχίων τα οποία έγιναν αποδεκτά χωρίς έλεγχο, στα αποτελέσματα των ελέγχων. Είναι προφανές ότι στους ελέγχους αλλά και στο σύνολο, οι δηλώσεις των παραγωγών είχαν μεγάλη απόκλιση από τις μετρήσεις. Όσον αφορά την μεγάλη διαφορά που παρουσιάζεται μεταξύ της δηλωθείσας επιλέξιμης έκτασης και της αντίστοιχης μετρηθείσας οφείλεται και στην αδυναμία απόδειξης κατοχής των αγροτεμαχίων (*Σχήμα 17*).

Στο πρακτικό ελέγχου [1] αναγράφονται διάφοροι κωδικοί σφαλμάτων ανάλογα με τις παρατυπίες που βρέθηκαν. Στο *Σχήμα 17* παρουσιάζεται η συχνότητα εμφάνισης των κατηγοριών σφαλμάτων που διαπιστώθηκαν κατά την διάρκεια των ελέγχων, εκφρασμένη σε ποσοστό επί του συνόλου των αγροτεμαχίων - ελαιοτεμαχίων που

ελέχθησαν. Είναι προφανές ότι οι κυριότερες πηγές σφαλμάτων εντοπίζονται στις αποκλίσεις μεταξύ των δηλωθεισών και ευρεθεισών εκτάσεων με το 68,5% των αγροτεμάχιων να παρουσιάζουν αποκλίσεις, στον εντοπισμό των αγροτεμαχίων σε διαφορετική θέση με το 44,9% των αγροτεμάχιων να έχουν δηλωθεί σε διαφορετική θέση από την πραγματική και στην αδυναμία απόδειξης κατοχής με το 28,3% των αγροτεμάχιων να μην διαθέτουν τίτλους ιδιοκτησίας. Επίσης, το 87,1% των ελαιοτεμαχίων που ελέγχθηκαν δεν διατηρείται σε καλές συνθήκες παραγωγής, γεγονός που εν μέρει δικαιολογείται από την εγκατάλειψη της ελαιοκαλλιέργειας λόγω ανυπαρξίας ελαιοτριβείου στο νησί, ενώ στο 3,2% των ελαιοτεμάχιων βρέθηκε διαφορετικός αριθμός δένδρων.

Πίνακας 15. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα ελέγχων εκτάσεων και ελαιόδεντρων

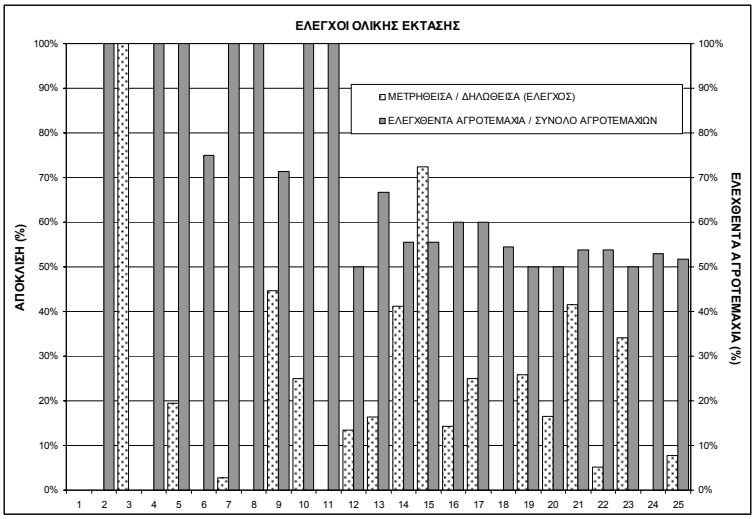
	Έλεγχος		Σύνολο	
	Δήλωση	Μέτρηση	Δήλωση	Μέτρηση + Αποδεκτή
Ολική έκταση (εκτάρια)	92,18	78,12	219,90	195,91
Επιλέξιμη έκταση (εκτάρια)	91,87	44,00	219,59	147,87
Αριθμός ελαιόδεντρων	1497	1031	1539	1031



Σχήμα 17. Κατηγορίες σφαλμάτων που διαπιστώθηκαν στα ελεγχθέντα αγροτεμάχια

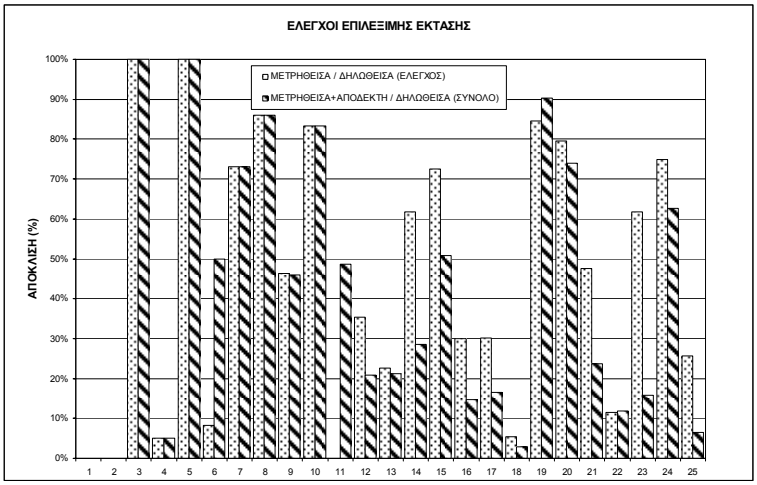
Το ποσοστό των σφαλμάτων θέσης των αγροτεμαχίων είναι αρκετά υψηλό (44,9% του συνόλου των ελεγχθέντων αγροτεμαχίων), πράγμα που μας οδήγησε στην περαιτέρω διερεύνησή του. Έτσι, από την ανάλυση των διαφορετικών περιπτώσεων σφαλμάτων θέσης του αγροτεμαχίου, παρατηρήσαμε ότι το 36,9% των περιπτώσεων αφορούσε αγροτεμάχια που βρίσκονταν στην ίδια ενότητα, το 36,8% των αγροτεμαχίων είχαν λάθος χαρτογραφικό υπόβαθρο και επηρέαζαν άλλα αγροτεμάχια, ενώ το 26,3% των αγροτεμαχίων είχαν λάθος χαρτογραφικό υπόβαθρο και δεν επηρέαζαν άλλα αγροτεμάχια. Η χρήση της προτεινόμενης μεθοδολογίας κάνει εύκολη την επιβεβαίωση της θέσης του αγροτεμαχίου αλλά και τη διόρθωση των υπαρχουσών διαφανειών αφού τα πρωτογενή δεδομένα ελέγχου βρίσκονται σε διανυσματική μορφή και μπορούν να διακινηθούν εύκολα μεταξύ των αρμόδιων υπηρεσιών.

Στο *Σχήμα 18* παρουσιάζεται η απόκλιση της μετρηθείσας ολικής ως προς την δηλωθείσα έκταση καθώς και το ποσοστό των ελεγχθέντων αγροτεμαχίων ως προς το συνολικό αριθμό των αγροτεμαχίων της δήλωσης για κάθε έναν από τους ελεγχόμενους παραγωγούς. Είναι προφανές ότι στην πλειοψηφία των περιπτώσεων (*Πίνακας 16*) η απόκλιση υπερβαίνει το 5%, που είναι το όριο που τίθεται από τις αντίστοιχες οδηγίες ελέγχων, για να γίνει αποδεκτή η δήλωση του παραγωγού. Πρέπει να σημειωθεί ότι στην περίπτωση 1 ο έλεγχος δεν περιλάμβανε αγροτεμάχια, ενώ στις περιπτώσεις 2, 4, 8, 11, 18 και 24 όπου η απόκλιση είναι ίση με μηδέν η μετρηθείσα έκταση ήταν μεγαλύτερη από αυτήν που είχε δηλώσει ο παραγωγός. Επίσης, τα ελεγχθέντα αγροτεμάχια σε κάθε περίπτωση αποτελούσαν τουλάχιστον το 50%, του συνολικού αριθμού των αγροτεμαχίων της αίτησης του παραγωγού.



Σχήμα 18. Απόκλιση της μετρηθείσας ολικής έκτασης ως προς τη δηλωθείσα κατά τη διάρκεια των ελέγχων και ποσοστό ελεγχθέντων αγροτεμαχίων ως προς το σύνολο των αγροτεμαχίων, για κάθε έναν από τους ελεγχόμενους παραγωγούς

Στο *Σχήμα 19*, παρουσιάζεται η απόκλιση της μετρηθείσας επιλέξιμης έκτασης ως προς τη δηλωθείσα κατά τη διάρκεια των ελέγχων και η απόκλιση του αθροίσματος μετρηθείσας και αποδεκτής επιλέξιμης έκτασης ως προς τη συνολική επιλέξιμη έκταση, για κάθε έναν από τους ελεγχόμενους παραγωγούς. Σημειωτέον ότι η έκταση των αγροτεμαχίων που δεν ελέγχθηκαν γίνεται αποδεκτή ως έχει. Η απόκλιση υπερβαίνει το 5% σε μεγαλύτερο ποσοστό από ότι στην περίπτωση της ολικής έκτασης (*Σχήμα 18*, *Πίνακας 16*), με μόνο τέσσερεις παραγωγούς να είναι μέχρι κάτω από αυτό το όριο, συμπεριλαμβανομένης της περίπτωσης 1 όπου ο έλεγχος δεν περιλάμβανε αγροτεμάχια. Η εξήγηση βρίσκεται στην αδυναμία απόδειξης κατοχής των αγροτεμαχίων από τους παραγωγούς και στην διαφορά δηλωθείσας - ευρεθείσας έκτασης (*Πίνακας 15*, *Σχήμα 17*).



Σχήμα 19. Απόκλιση της μετρηθείσας επιλέξιμης έκτασης ως προς τη δηλωθείσα κατά τη διάρκεια των ελέγχων και απόκλιση του αθροίσματος μετρηθείσας και αποδεκτής επιλέξιμης έκτασης ως προς τη συνολική επιλέξιμη έκταση, για κάθε έναν από τους ελεγχόμενους παραγωγούς.

Στον *Πίνακα 16*, γίνεται σύνοψη των αποτελεσμάτων των ελέγχων ολικής και επιλέξιμης έκτασης (*Σχήματα 18*, *19*). Παρουσιάζεται η απόκλιση της μετρηθείσας ολικής έκτασης ως προς την δηλωθείσα στα αγροτεμάχια που ελέγχθηκαν, ενώ για την επιλέξιμη έκταση γίνεται ανάλυση σε δύο τμήματα. Το πρώτο τμήμα είναι το ίδιο με την περίπτωση της ολικής, ενώ στο δεύτερο παρουσιάζεται η απόκλιση του αθροίσματος μετρηθείσας και αποδεκτής επιλέξιμης έκτασης προς τη συνολική επιλέξιμη έκταση που δήλωσε ο παραγωγός. Η παρατηρηθείσα απόκλιση χωρίστηκε σε τρεις κατηγορίες, ανάλογα με το μέγεθός της: α) Μικρότερη ή ίση του 5%, στην περίπτωση της οποίας η έκταση γινόταν αποδεκτή, β) Μεταξύ 5% και 50% και γ) Μεγαλύτερη του 50%. Η πρώτη κατηγορία είναι καθορισμένη από τις αντίστοιχες οδηγίες ελέγχων, ενώ οι υπόλοιπες επιλέχθηκαν με σκοπό την καλύτερη παρουσίαση των αποτελεσμάτων και την εξαγωγή συμπερασμάτων.

Πίνακας 16. Ανάλυση αποτελεσμάτων ελέγχων ολικής και επιλέξιμης έκτασης

	Ολική έκταση	Επιλέξιμη έκταση	
Απόκλιση	Μετρηθείσα / Δηλωθείσα (Έλεγχος) Αρ. Παραγωγών	Μετρηθείσα / Δηλωθείσα (Έλεγχος) Αρ. Παραγωγών	(Μετρηθείσα+Αποδεκτή)/ Δηλωθείσα (Σύνολο) Αρ. Παραγωγών
<=5%	9 (36%)	4 (16%)	4 (12%)
Μεταξύ 5% και 50%	14 (56%)	10 (40%)	12 (48%)
>50%	2 (8%)	11 (44%)	9 (36%)
Σύνολο	25 (100%)	25 (100%)	25 (100%)

Παρατηρούμε ότι το ποσοστό των παραγωγών που πληρούν το κριτήριο του 5%, είναι σημαντικά μικρότερο στην περίπτωση της επιλέξιμης έκτασης κατά τους ελέγχους

αλλά και στο σύνολο της εκμετάλλευσης. Αυτό εξηγείται αν λάβουμε υπόψη ότι στο 68,5% των αγροτεμαχίων υπήρχε διαφορά δηλωθείσας - ευρεθείσας έκτασης, ενώ στο 28,3% των αγροτεμαχίων υπήρξε αδυναμία απόδειξης κατοχής των αγροτεμαχίων (*Σχήμα 17*), με αποτέλεσμα η μετρηθείσα έκταση να χαρακτηρίζεται μη επιλέξιμη.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Η δυσμενής μορφολογία του τοπίου της Τήνου [7], το ορεινό και δύσβατο του εδάφους, με βοσκοτόπια σε περιοχές απότομες και βραχώδεις [8], η δυσκολία προσέγγισης των ορίων (βραχώδες έδαφος, διαμορφωμένο με αναβαθμίδες, δύσβατες και απροσπέλαστες ρεματιές) δυσχεραίνουν το έργο των επιτόπιων ελέγχων. Η διαδικασία που προβλέπεται από την Τοπογραφική Υπηρεσία του ΥΠ.Α.Α.Τ. και τον Ο.Π.Ε.Κ.Ε.Π.Ε. περιλαμβάνει σχεδίαση σκαριφημάτων, σημείωση συντεταγμένων κορυφών και αποστάσεων. Όμως σε ένα πεδίο με το ανάγλυφο και τα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά της Τήνου, δεν θα μπορούσε να εφαρμοστεί ορθά στην πλειοψηφία των περιπτώσεων.

Η ανάπτυξη μιας μεθοδολογίας επιτόπιων ελέγχων που περιλαμβάνει χρήση G.I.S., σε συνδυασμό με τον εντοπισμό των αγροτεμαχίων μέσω G.P.S., αυξάνει την αξιοπιστία των ελέγχων και δίνει τη δυνατότητα χρήσης των διαθέσιμων στοιχείων και σε άλλα καθεστώτα.

Με την εφαρμογή της προτεινόμενης μεθοδολογίας στους επιτόπιους ελέγχους που πραγματοποιήθηκαν, ελέγχθηκε τουλάχιστον το 50% των αγροτεμαχίων σε κάθε παραγωγό. Τα ελεγχθέντα αγροτεμάχια εντοπίστηκαν και ψηφιοποιήθηκαν με τρεις διαφορετικούς τρόπους, ανάλογα με την ευκολία αποτύπωσης της περιμέτρου τους. Στη συνέχεια έγινε αντιπαραβολή με τις διαφάνειες της Δ/νσης Τοπογραφικής του ΥΠ.Α.Α.Τ. στις οποίες είχαν αποτυπωθεί τα αγροτεμάχια αρχικά.

Τα μεγαλύτερα ποσοστά σφαλμάτων παρουσιάστηκαν στην απόκλιση της δηλωθείσας από την μετρηθείσα έκταση και στον εντοπισμό τους σε διαφορετική θέση από αυτή που είχαν δηλωθεί. Τα σφάλματα αυτά οφείλονται στους παρακάτω λόγους:

1. Στην αδυναμία των αγροτών να υποδείξουν στους ορθοφωτοχάρτες την θέση των αγροτεμαχίων και να εκτιμήσουν σωστά την έκτασή τους.
2. Στη δήλωση διαφορετικών αγροτεμαχίων ως ενιαία, στην περίπτωση που βρίσκονταν στην ίδια περιοχή και κοντά το ένα με το άλλο.
3. Στο ότι η πλειοψηφία των βοσκοτόπων βρίσκονται σε βραχώδεις και εγκαταλελειμμένες περιοχές χωρίς διακριτά όρια.
4. Στη πίεση χρόνου για το εμπρόθεσμο της υποβολής των αιτήσεων από τον φορέα συμπλήρωσης τους που ήταν και ο υπεύθυνος χαρτογράφησης των αγροτεμαχίων.
5. Στην αδυναμία αποτύπωσης των αγροτεμαχίων και διόρθωσης των στοιχείων τους, σε ελέγχους κατά τα προηγούμενα έτη, λόγω έλλειψης κατάλληλου εξοπλισμού και τεχνογνωσίας.
6. Στην μη επικαιροποίηση και διόρθωση του ελαιοκομικού και του αμπελουργικού μητρώου από το έτος 2003 οπότε και συστάθηκαν.

Επίσης, η αδυναμία απόδειξης κατοχής των αγροτεμαχίων, οφειλόταν στην ανυπαρξία τίτλων ιδιοκτησίας, στην κατοχή μέρους των αγροτεμαχίων λόγω συνιδιοκτησίας και στα ληγμένα ενοικιαστήρια και χρησιδάνεια, με συνέπεια να μειωθούν πολύ οι επιλέξιμες εκτάσεις.

Η ύπαρξη αρχείου με ψηφιοποιημένα αγροτεμάχια στο Τμήμα Αγροτικής Ανάπτυξης Τήνου, αποτελεί τη βάση για διοικητικούς και διασταυρωτικούς ελέγχους για άλλα καθεστώτα ενίσχυσης που περιέχουν τα ελεγχθέντα αγροτεμάχια. Με βάση τις καταγεγραμμένες καλλιέργειες μπορούν να παραχθούν χάρτες χρήσεων γης, να προγραμματισθούν και να υλοποιηθούν προγράμματα κατά παραγόμενο προϊόν,

εγγειοβελτιωτικά έργα, σύνταξη εδαφολογικών χαρτών, προγράμματα φυτοπροστασίας κλπ.

Η εκπαίδευση και η ενημέρωση των γεωπόνων - ελεγκτών, σε θέματα που αφορούν τη χρήση συστημάτων γεωγραφικών πληροφοριών, σε συνδυασμό με την υπάρχουσα υποδομή σε όργανα G.P.S. μπορούν να συνεισφέρουν στον αποτελεσματικότερο και ορθολογικότερο έλεγχο των αγροτεμαχίων.

Με την υιοθέτηση της προτεινόμενης μεθοδολογίας μπορούν να επικαιροποιηθούν και να διορθωθούν οι διαφάνειες αγροτεμαχίων από τις υπηρεσίες που πραγματοποιούν τους επιτόπιους ελέγχους και στη συνέχεια να δοθούν στις λοιπές αρμόδιες υπηρεσίες. Η σταδιακή αντικατάσταση των διαφανειών από αρχεία διανυσματικών δεδομένων θα κάνει εύκολη την πρόσβαση και τους διασταυρωτικούς ελέγχους σε όλα τα επίπεδα διοίκησης καθώς και την εφαρμογή ενιαίας μεθοδολογίας ελέγχου με υψηλά ποσοστά αξιοπιστίας.

Ο εξοπλισμός των ελεγκτικών υπηρεσιών με το κατάλληλο λογισμικό, τα απαραίτητα δεδομένα και φορητούς υπολογιστές παλάμης με ενσωματωμένους δέκτες G.P.S., θα αποτελούσε τον ιδανικό συνδυασμό για την εφαρμογή της μεθοδολογίας που παρουσιάστηκε παραπάνω, αφού θα επέτρεπε την επιτόπου ψηφιοποίηση.

Όλα τα ανωτέρω, αποτελούν ένα κίνητρο για την προσαρμογή του ρόλου του γεωπόνου στις σύγχρονες τεχνολογίες και απαιτήσεις, όπως αυτές διαμορφώνονται μέσω της νέας Κ.Α.Π., βάσει της οποίας καλείται να συνεισφέρει στην αντιμετώπιση και την επίλυση των πολλαπλών και ποικιλόμορφων προβλημάτων του αγροτικού τομέα και παράλληλα να προωθήσει τη γεωπονική επιστήμη.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Ο.Π.Ε.Κ.Ε.Π.Ε., 2006. *Εγκύκλιος - Εγχειρίδιο διαδικασιών διενεργουμένων ελέγχων και επιβαλλομένων κυρώσεων για το καθεστώς της ενιαίας ενίσχυσης και τα λοιπά καθεστώτα στήριξης στα πλαίσια του ΚΑΝ. (ΕΚ) 1782/03*, Α.Π. 70746/20-7-2006.
2. Ζέρβα Γ., Τούλιος Λ., Κραβαρίτης Χ., Τσίτουρας Α., 2004. Εξειδικευμένη χρήση GIS, GPS και τηλεπισκόπισης στον έλεγχο αγροτικών καλλιεργειών. *Πρακτικά 7ου Πανελλήνιου Γεωγραφικού Συνεδρίου, Ελληνικής Γεωγραφικής Εταιρίας (7PGC/HGS)*, Μυτιλήνη, Οκτώβριος 2004.
3. Sileos, N., Perakis, K., Petsanis, G., 2002. Assessment of crop damage using space remote sensing and GIS. *Int. J. Remote Sens.,* 23(3): 417-427.
4. Ramos, M.I., Gil, A.J., Feito, F.R., García-Ferrer, A., 2007. Using GPS and GIS tools to monitor olive tree movements. *Comput. Electron. Agr.*, 57: 135-148.
5. Garmin, 2006. *eTrex® Legend Cx personal navigator owner's manual*, Taiwan, January 2006.
6. ΥΠ.Α.Α.Τ., 2000. *Επιτόπιοι Έλεγχοι αγροτεμαχίων στα πλαίσια του ΟΣΔΕ*, Α.Π. 302462/4-7-2000.
7. Schahabi, S., 1974. *Γένεσις και οικολογική κατάστασις των εδαφών της νήσου Τήνου*, Α.Ε.Ε. Χημικών Προϊόντων και Λιπασμάτων, Ινστιτούτο Χημείας και Γεωργίας «Ν. ΚΑΝΕΛΛΟΠΟΥΛΟΣ». Πειραιάς 1974, σελ. 16,18.
8. Ζερλέντης Κ., 1952. *Συμβολή εις την φυτογεωγραφία των Κυκλάδων*, Διδακτορική Διατριβή, Α.Γ.Σ.Α., Αθήνα 1952, σελ.12, 140.

(157)

ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ SLURP ΚΑΙ GIS ΓΙΑ ΤΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΩΝ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΤΟΥ ΠΟΤΑΜΟΥ ΑΛΜΩΠΑΙΟΥ

Π.Ε. Γεωργίου[1*], Γ. Γεωργούλιας[1], Δ.Μ. Παπαμιχαήλ[1] και Μ.Ι. Διαμαντοπούλου[2]

[1]Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Γεωπονική Σχολή, 54124 Θεσσαλονίκη
[2]Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Σχολή Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος, 54124 Θεσσαλονίκη, *e-mail: pantaz@agro.auth.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εργασία αυτή γίνεται προσομοίωση σε ημερήσια βάση των διαφόρων φάσεων του υδρολογικού κύκλου της υδρολογικής λεκάνης του ποταμού Αλμωπαίου με την εφαρμογή του κατανεμημένου παραμετρικού υδρολογικού μοντέλου συνεχούς προσομοίωσης SLURP σε συνδυασμό με Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών. Τελικός στόχος είναι η συνεχής προσομοίωση της μέσης ημερήσιας παροχής του ποταμού στην έξοδό του, στον Προφήτη Ηλία. Οι ημερήσιες παροχές που εκτιμήθηκαν με την παραπάνω διαδικασία και με τη χρησιμοποίηση του ψηφιακού μοντέλου εδάφους (DTM), των χρήσεων γης, των ημερήσιων δεδομένων των μετεωρολογικών μεταβλητών και του δείκτη φυλλικής επιφάνειας (LAI) και των εδαφικών υγρασιακών σταθερών, συγκρίθηκαν με τις αντίστοιχες μετρημένες παροχές και τα αποτελέσματα ήταν ικανοποιητικά.

WATER RESOURCES MANAGEMENT OF THE ALMOPEOS RIVER BASIN BY USING THE SLURP MODEL AND GIS

P.E. Georgiou[1*], G. Georgoulias[1], D.M. Papamichail[1] and M.J. Diamantopoulou[2]

[1]Aristotle University of Thessaloniki, Faculty of Agriculture, 54124 Thessaloniki
[2] Aristotle University of Thessaloniki, Faculty of Forestry and Natural Environment, 54124 Thessaloniki, *e-mail: pantaz@agro.auth.gr

ABSTRACT

In this paper for the daily simulation of the various phases of the hydrologic cycle in the Almopeos river basin the distributed hydrologic model SLURP (Semi-distributed Land Use-based Runoff Process) in combination with GIS was applied with final goal to estimate the continuous Almopeos river mean daily discharge at the outlet of the basin, at Profitis Ilias. The daily flows which were estimated by using the above procedure, the digital terrain model (DTM), the land use, the daily input data of the meteorological variables and the leaf area index (LAI) and soil moisture parameters during the calibration and prediction periods were compared with respect to the measured flows and the results were satisfactory.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ορθολογική διαχείριση των υδατικών πόρων προϋποθέτουν την ποσοτική εκτίμηση των διαφόρων φάσεων του υδρολογικού κύκλου, που οδηγεί στην αξιόπιστη αναπαράσταση των σχέσεων βροχής – απορροής. Η διερεύνηση των σχέσεων βροχής – απορροής, γίνεται με την εφαρμογή των υδρολογικών μοντέλων. Τα υδρολογικά μοντέλα δίνουν συνολική αναπαράσταση του υδρολογικού κύκλου και των συνιστωσών του σε μια συγκεκριμένη χωρική ενότητα, όπως είναι η υδρολογική λεκάνη, μέσω της οποίας τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα μετασχηματίζονται σε απορροή.

Τα υδρολογικά μοντέλα ανάλογα με τον τρόπο με τον οποίο προσεγγίζουν τον υδρολογικό κύκλο και με την παραδοχή, όσον αφορά τη φύση των διεργασιών του υδρολογικού συστήματος ταξινομούνται σε μοντέλα προσομοίωσης συμβάντος, συνεχούς προσομοίωσης, ενιαία, κατανεμημένα κ.λπ. [1,2]. Στη διεθνή βιβλιογραφία έχουν παρουσιαστεί πολλά υδρολογικά μοντέλα (π.χ. HEC-1, SSARR, KINEROS κ.λπ.) [1] τα οποία εφαρμόστηκαν σε διάφορες γεωγραφικές περιοχές και για διάφορες χωρικές και χρονικές κλίμακες.

Τα τελευταία χρόνια πολλά υδρολογικά μοντέλα έχουν τη δυνατότητα να ενσωματώνουν άμεσα τα γεωγραφικά δεδομένα μέσα από τη συνεργασία τους με Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS). Η χρήση των GIS δίνει τη δυνατότητα απεικόνισης της χωρικής κατανομής των συνιστωσών του υδρολογικού κύκλου και της προσομοίωσης στοιχείων του γεωγραφικού χώρου, όπως αυτά διατάσσονται πραγματικά. Ταυτόχρονα επιτυγχάνεται η σύνδεση της γεωγραφικής πληροφορίας με βάση δεδομένων και η ποσοτική εκτίμηση της χωρικής κατανομής όλων των μεταβλητών που εμπλέκονται στο υδατικό ισοζύγιο μιας υδρολογικής λεκάνης. Χαρακτηριστικά μοντέλα αυτής της κατηγορίας είναι το SLURP [3,4,5], το SWAT [6], το MIKE-SHE [7] κ.λπ.

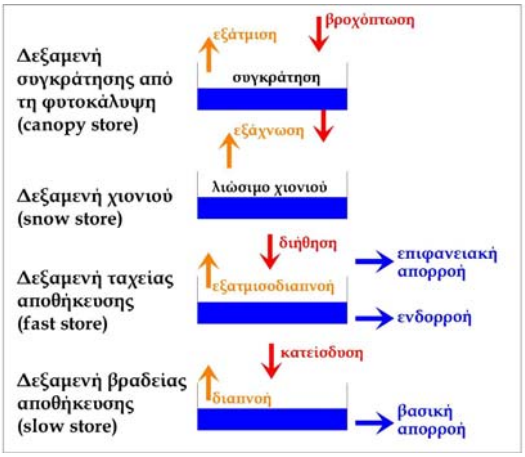
Στην εργασία αυτή γίνεται προσομοίωση των διαφόρων φάσεων του υδρολογικού κύκλου (εξάτμιση, διαπνοή, διήθηση, κατείσδυση, απορροή κ.λπ.) σε ημερήσια βάση με την εφαρμογή του κατανεμημένου υδρολογικού μοντέλου συνεχούς προσομοίωσης SLURP σε συνδυασμό με Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών [3,4,5,8]. Τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών χρησιμοποιούνται για την αποθήκευση, την ανάλυση και την εξαγωγή όλων των πληροφοριών της υδρολογικής λεκάνης που απαιτεί το μοντέλο SLURP. Η περιοχή εφαρμογής του μοντέλου είναι η υδρολογική λεκάνη του ποταμού Αλμωπαίου που βρίσκεται στη Β. Ελλάδα.

2. ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΡΕΥΝΑΣ

Το υδρολογικό μοντέλο SLURP v.12.6 (Semi-distributed Land Use-based Runoff Process) [3,4,5,8] είναι ένα ημικατανεμημένο μοντέλο, το οποίο μπορεί να λειτουργήσει ως πλήρως κατανεμημένο, συνεχούς προσομοίωσης. Είναι γραμμένο σε γλώσσα προγραμματισμού Fortran και λειτουργεί σε περιβάλλον Windows. Για την επεξεργασία του αναγλύφου του εδάφους, την εξαγωγή του υδρογραφικού δικτύου και τον υπολογισμό των τοπογραφικών χαρακτηριστικών της υδρολογικής λεκάνης χρησιμοποιείται ο κώδικας του TOPAZ (Topographic PArameteriZation) [9]. Το πρόγραμμα TOPAZ δημιουργεί όλα τα απαιτούμενα από το υδρολογικό μοντέλο SLURP αρχεία δεδομένων εισόδου και είναι ενσωματωμένο στο περιβάλλον εργασίας του SLURP. Ως δεδομένα εισόδου το λογισμικό του υδρολογικού μοντέλου SLURP απαιτεί το ψηφιακό μοντέλο εδάφους, τις υπάρχουσες χρήσεις γης με τη χωρική τους κατανομή, το δείκτη φυλλικής επιφάνειας (LAI) [8], τις εδαφικές υγρασιακές σταθερές, τα τυχόν υπάρχοντα μετρημένα υδρογραφήματα απορροής και μετεωρολογικά δεδομένα.

Το μοντέλο SLURP για την προσομοίωση των φάσεων του υδρολογικού κύκλου και την υδρολογική προσομοίωση της λεκάνης απορροής, χρησιμοποιεί 4 δεξαμενές, όπως φαίνεται στο *Σχήμα 1,* που σε κάθε μία από αυτές γίνονται διάφορες διεργασίες.

Το μοντέλο SLURP υιοθετεί τη λογική ενός κατακόρυφου υδατικού ισοζυγίου κάθε χρήσης γης, κάθε υπολεκάνης. Κατά την εφαρμογή του υδατικού ισοζυγίου, οι συνιστώσες που λαμβάνονται υπόψη είναι οι εξής: Βροχόπτωση, συγκράτηση νερού από τη φυτοκάλυψη, λιώσιμο χιονιού, εξατμισοδιαπνοή, διήθηση, βασική απορροή, ενδορροή και επιφανειακή απορροή. Η εκτίμηση του υδατικού ισοζυγίου γίνεται σε ημερήσιο χρονικό βήμα.



Σχήμα 1. Δεξαμενές υδρολογικού μοντέλου SLURP.

Αρχικά η βροχόπτωση δεσμεύεται από τη φυτοκάλυψη (canopy store), η οποία υπολογίζεται με τη βοήθεια ημερήσιων τιμών του δείκτη φυλλικής επιφάνειας LAI. Από εκεί ανάλογα με τη μέγιστη ικανότητα συγκράτησης νερού από τη φυτοκόμη, το πλεονάζον νερό είτε προστίθεται στη δεξαμενή του χιονιού (snow store), αν η θερμοκρασία είναι κάτω από μία κρίσιμη τιμή (T_{crit}), είτε προστίθεται στο δυναμικό της δεξαμενής ταχείας αποθήκευσης (fast store) διαμέσου της διαδικασίας της διήθησης (infiltration). Ταυτόχρονα νερό αφαιρείται από τη δεξαμενή διαμέσου της εξάτμισης.

Από τη δεξαμενή του χιονιού (snow store) νερό αφαιρείται τόσο λόγω εξάχνωσης, όσο και λόγω λιωσίματος, οπότε και με τη διαδικασία της διήθησης προστίθεται στη δεξαμενή ταχείας αποθήκευσης (fast store).

Από τη δεξαμενή ταχείας αποθήκευσης (fast store) αφαιρείται ποσότητα νερού λόγω εξάτμισης (evaporation) και διαπνοής (transpiration). Στην περίπτωση που το νερό είναι περισσότερο από ότι μπορεί να διηθηθεί, ή αν η δεξαμενή ταχείας αποθήκευσης είναι πλήρης, τότε το πλεονάζον νερό θεωρείται ότι απορρέει επιφανειακά (surface runoff). Επιπλέον, στην περίπτωση όπου η ποσότητα του νερού που βρίσκεται στη δεξαμενή ταχείας αποθήκευσης είναι μεγαλύτερη από την υδατοϊκανότητα (field capacity) τότε το πλεονάζον νερό κινείται πλευρικά στην ακόρεστη ζώνη του εδάφους και εκδηλώνεται ως ενδορροή (interflow). Ταυτόχρονα νερό αφαιρείται από τη δεξαμενή ταχείας αποθήκευσης και προστίθεται στη δεξαμενή βραδείας αποθήκευσης διαμέσου του μηχανισμού της κατείσδυσης (percolation). Το άθροισμα της επιφανειακής απορροής (surface runoff) και της ενδορροής (interflow) διαμορφώνουν την έξοδο της δεξαμενής ταχείας αποθήκευσης.

Από τη δεξαμενή βραδείας αποθήκευσης (slow store) νερό αφαιρείται λόγω διαπνοής. Επίσης από τη δεξαμενή βραδείας αποθήκευσης προκύπτει η υπόγεια ροή

(ground water flow), από την κορεσμένη ζώνη του εδάφους η οποία εκδηλώνεται ως βασική απορροή.

Η δυναμική εξατμισοδιαπνοή μπορεί να υπολογιστεί με τις μεθόδους CRAE [5], Granger [5], Spittlehouse [5], FAO Penman-Monteith [5,10,11,12] και Linacre [5] με τη βοήθεια κλιματικών παραμέτρων. Η πραγματική εξατμισοδιαπνοή υπολογίζεται με τη βοήθεια μιας συνάρτησης διαθεσιμότητας της εδαφικής υγρασίας βάσει των τιμών της υδατοϊκανότητας και του σημείου μόνιμης μάρανσης [5]. Τέλος, η απορροή από κάθε χρήση γης, πρώτα οδηγείται στο πλησιέστερο σημείο ενός ρεύματος και εν συνεχεία κατά μήκος αυτού του ρεύματος, οδηγείται στην έξοδο της υπολεκάνης. Στη συνέχεια, γίνεται διόδευση μεταξύ των υπολεκανών με την εφαρμογή κάποιας από τις γνωστές μεθόδους διόδευσης (Muskingum ή Muskingum/Cunge) [2,5].

Το λογισμικό SLURP, για την υδρολογική προσομοίωση της λεκάνης απορροής, χρησιμοποιεί δέκα (10) παραμέτρους, οι οποίες έχουν διαφορετικές τιμές για κάθε χρήση γης, εξαιτίας του γεγονότος ότι το SLURP εφαρμόζει το κατακόρυφο υδατικό ισοζύγιο χωριστά για κάθε χρήση γης, κάθε υπολεκάνης. Οι παράμετροι εισάγονται στο μοντέλο με κάποιες αρχικές τιμές και στη συνέχεια γίνεται βελτιστοποίηση των τιμών τους κατά την περίοδο ρύθμισης. Η βελτιστοποίηση γίνεται με τη χρήση της μεθόδου εξέλιξης μέσω πεπλεγμένης αναδιάταξης του Πανεπιστημίου της Αριζόνα (Shuffled Complex Evolution – University of Arizona, SCE-UA) [13].

3. ΕΦΑΡΜΟΓΗ - ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

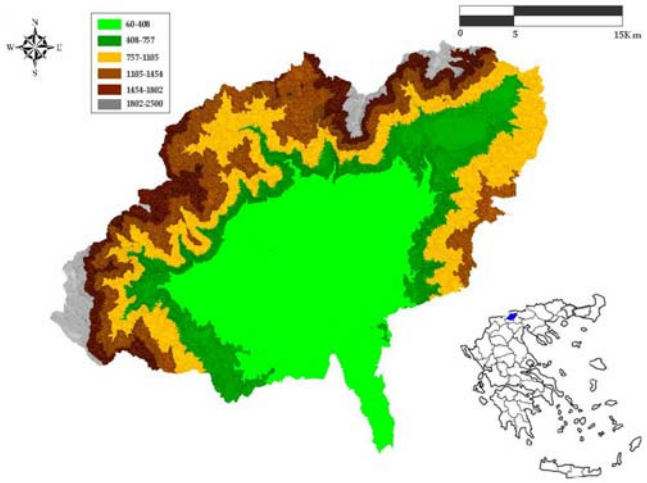
Στην εργασία αυτή η προσομοίωση των φάσεων του υδρολογικού κύκλου αφορά την λεκάνη απορροής του ποταμού Αλμωπαίου ή Μογλενίτσα. Η λεκάνη του Αλμωπαίου ανήκει διοικητικά στην επαρχία Αλμωπίας του Νομού Πέλλης. Ο Αλμωπαίος δια μέσου των στενών του Αλώρου παροχετεύει τη συνολική απορροή της λεκάνης στην περιφερειακή τάφρο 66 που εκβάλλει στον ποταμό Αλιάκμονα, έχει απορροή καθόλη τη διάρκεια του έτους, έχει καθαρό νερό και είναι δυνατόν να αξιοποιηθεί το υδατικό δυναμικό του. Σήμερα ένα μέρος μόνο της παροχής του Αλμωπαίου χρησιμοποιείται με παροχετεύσεις που έχουν γίνει από παλιά για την άρδευση ορισμένων περιοχών.

Το ψηφιακό μοντέλο εδάφους, προέκυψε από τη ψηφιοποίηση χαρτών της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού (Γ.Υ.Σ.) κλίμακας 1:50.000 και ειδικότερα των φύλλων: Βιτολιστέ, Πρόμαχοι, Σκρα, Άρνισσα, Έδεσσα και Γιαννιτσά. Αρχικά τα εν λόγω φύλλα χάρτη εισήχθησαν στο πρόγραμμα LandDesktop v3.0 σε μορφή raster και στη συνέχεια εξαρτήθηκαν τόσο σε θέση, όσο και σε στροφή και κλίμακα, έτσι ώστε το σύστημα των συντεταγμένων να είναι αυτό της Εγκάρσιας Μερκατορικής Προβολής Ε.Γ.Σ.Α. ‘87. Στη συνέχεια ακολούθησε η ψηφιοποίηση των ισοϋψών καμπυλών με τη χρήση 3d-polylines. Μετά το πέρας της ψηφιοποίησης, ολοκληρώθηκε η δημιουργία του ψηφιακού μοντέλου εδάφους το οποίο φαίνεται στο *Σχήμα 2*. Στη συνέχεια δημιουργήθηκε το ψηφιακό μοντέλο εδάφους μορφής DEM με βήμα πλευράς καννάβου 150 m και το οποίο εισήχθη στο μοντέλο SLURP. Ο καθορισμός του υδροκρίτη για την υπό μελέτη υδρολογική λεκάνη έγινε με τη χρήση του λογισμικού TOPAZ και φαίνεται στο *Σχήμα 2*. Η έκταση της υδρολογικής λεκάνης είναι 937.52 km^2.

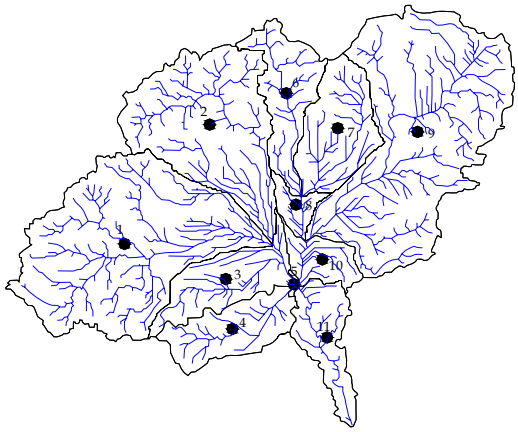
Με τη χρήση του ίδιου λογισμικού TOPAZ έγινε η εξαγωγή του υδρογραφικού δικτύου και καθορίσθηκαν τα όρια των εσωτερικών υπολεκανών με τη χρήση της παραμέτρου Critical Source Area (C.S.A.), που είναι μια κρίσιμη τιμή εμβαδού σύμφωνα με την οποία ένα μόνιμο υδατόρευμα υφίσταται όταν η ανάντη έκταση που απορρέει προς αυτό είναι μεγαλύτερη από αυτή την τιμή. Όσο μικρότερη είναι η τιμή της παραμέτρου, τόσο περισσότερες υπολεκάνες προκύπτουν. Για τη λεκάνη του ποταμού Αλμωπαίου, επιλέχθηκε ως τιμή της κρίσιμης ανάντη επιφάνειας η τιμή των 5000 ha, η οποία δίνει 11 υπολεκάνες. Στο *Σχήμα 3* φαίνεται το υδρογραφικό δίκτυο και

τα όρια των 11 υπολεκανών της λεκάνης του ποταμού Αλμωπαίου. Η επιλογή της τιμής των 5000 ha έγινε με γνώμονα την αποφυγή της άσκοπης διαίρεσης της λεκάνης απορροής σε πολλές υπολεκάνες που ούτε φυσική σημασία θα είχαν, αλλά θα οδηγούσαν και σε υπερβολικό υπολογιστικό χρόνο.

Για την υδρολογική προσομοίωση της λεκάνης απορροής του Αλμωπαίου ποταμού, χρησιμοποιήθηκαν κλιματικές παράμετροι 6 μετεωρολογικών σταθμών, εκ των οποίων οι 4 [Εξαπλάτανος (Γ.Π. 40° 58', Γ.Μ. 22° 04', Υψ. 133m), Νότια (Γ.Π. 41° 60', Γ.Μ. 22° 12', Υψ. 590m), Πρόμαχοι (Γ.Π. 41° 20', Γ.Μ. 22° 00', Υψ. 260m) και Θεοδωράκι (Γ.Π. 40° 57', Γ.Μ. 22° 12', Υψ. 424m)] βρίσκονται εντός της υδρολογικής λεκάνης και οι 2 [Καρυώτισσα (Γ.Π. 40° 49', Γ.Μ. 22° 17', Υψ. 8.8m) και Κρύα Βρύση (Γ.Π. 40° 44', Γ.Μ. 22° 16', Υψ. 6.7m)] βρίσκονται εκτός της λεκάνης.



Σχήμα 2. Ψηφιακό μοντέλο εδάφους και γεωγραφική θέση λεκάνης απορροής.



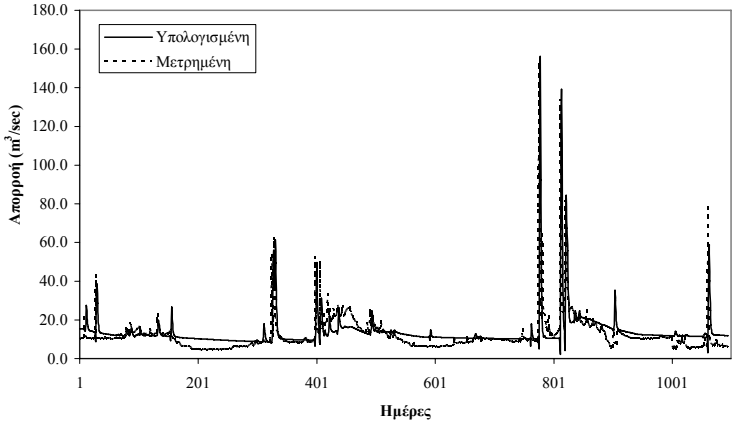
Σχήμα 3. Υδρογραφικό δίκτυο και όρια υπολεκανών της λεκάνης απορροής του ποταμού Αλμωπαίου.

Το υδρολογικό μοντέλο SLURP για να λειτουργήσει απαιτεί δεδομένα βροχόπτωσης, θερμοκρασίας, ηλιοφάνειας, σχετικής υγρασίας και ταχύτητας ανέμου. Στις περιπτώσεις των σταθμών που δεν υπάρχουν παρατηρήσεις των παραμέτρων σχετικής υγρασίας, ηλιοφάνειας και ταχύτητας ανέμου, οι τιμές αυτές προέκυψαν με

απλή μετάθεση από τους πλησιέστερους σταθμούς. Για την περίπτωση της θερμοκρασίας στους σταθμούς που δεν υπήρχαν παρατηρήσεις υπολογίστηκαν με τη βοήθεια παρατηρήσεων γειτονικών σταθμών και εφαρμογή της μεθόδου της θερμοβαθμίδας.

Για την εφαρμογή του μοντέλου SLURP απαιτείται η χωρική κατανομή των χρήσεων γης που συναντώνται εντός της υδρολογικής λεκάνης. Για τις ανάγκες της εργασίας αυτής, οι χρήσεις γης λήφθηκαν από το πρόγραμμα CORINE και στη συνέχεια με τη χρήση του λογισμικού ArcGIS μετατράπηκε η συνεχής πληροφορία των χρήσεων γης υπό τη μορφή πολυγώνων που είναι στο CORINE σε πληροφορία υπό μορφή καννάβου πλευράς 150m. Τέλος, μεταξύ των δεδομένων που απαιτεί το SLURP είναι και η μηχανική σύσταση των εδαφών. Από τη μηχανική σύσταση των εδαφών, προσδιορίζεται η υγρασία στην υδατοϊκανότητα και στον κορεσμό και η φαινόμενη πυκνότητα. Εδαφολογικός χάρτης που να περιέχει πληροφορίες για τη μηχανική σύσταση των εδαφών για ολόκληρη την περιοχή ενδιαφέροντος δεν υπάρχει. Εκτίμηση όμως της μηχανικής σύστασης των εδαφών, προέκυψε από τη γνώση του μητρικού πετρώματος, πληροφορία η οποία προήλθε από ένα γεωλογικό χάρτη [14]. Στην εργασία αυτή χρησιμοποιήθηκαν οι γεωλογικοί χάρτες του Ι.Γ.Μ.Ε. κλίμακας 1:50.000 και συγκεκριμένα τα φύλλα Άρνισσα, Έδεσσα, Σκρα, Βιτολιστέ και Πρόμαχοι.

Η εφαρμογή του υδρολογικού μοντέλου SLURP με σκοπό την προσομοίωση της σχέσης βροχής–απορροής στην υδρολογική λεκάνη του ποταμού Αλμωπαίου προϋποθέτει τον προσδιορισμό των δέκα παραμέτρων του μοντέλου. Ο προσδιορισμός των δέκα παραμέτρων για τις χρήσεις γης της λεκάνης γίνεται κατά τη διαδικασία της ρύθμισης. Για τη ρύθμιση του μοντέλου χρησιμοποιήθηκε ο αλγόριθμος «Μέθοδος εξέλιξης μέσω πλεγμένης αναδιάταξης του Πανεπιστημίου της Αριζόνα (SCE-UA)». Σαν περίοδος ρύθμισης του μοντέλου, χρησιμοποιήθηκαν ημερήσια δεδομένα της χρονικής περιόδου 1985-1987. Στο *Σχήμα 4* φαίνεται το μετρημένο και το υπολογισμένο υδρογράφημα απορροής της περιόδου ρύθμισης των ετών 1985-87.



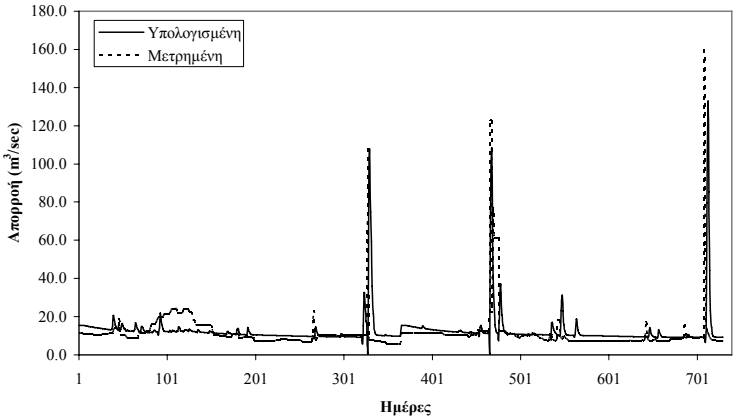
Σχήμα 4. Μετρημένο και υπολογισμένο υδρογράφημα απορροής της περιόδου ρύθμισης των ετών 1985-87 στην υδρολογική λεκάνη του ποταμού Αλμωπαίου.

Η επαλήθευση της καταλληλότητας του υδρολογικού μοντέλου SLURP γίνεται με την πρόβλεψη της ημερήσιας απορροής για τη χρονική περίοδο των ετών 1991 – 1992. Για την περίοδο αυτή η εφαρμογή του υδρολογικού μοντέλου SLURP γίνεται με τη χρησιμοποίηση των βέλτιστων τιμών των 10 παραμέτρων για τις διαφορετικές χρήσεις γης και την υιοθέτηση των 11 υπολεκανών και της διαδικασίας διόδευσης όπως στην

περίπτωση της ρύθμισης. Στο *Σχήμα 5* φαίνεται το μετρημένο και το υπολογισμένο υδρογράφημα απορροής της περιόδου πρόβλεψης των ετών 1991-92.

Από τα *Σχήματα 4 και 5* φαίνεται ότι το υδρολογικό μοντέλο SLURP προσομοιώνει με ικανοποιητική ακρίβεια τις πλημμυρικές αιχμές σε μέγεθος, αλλά όσον αφορά τις ημερομηνίες εμφάνισης, οι υπολογισμένες από το μοντέλο αιχμές παρουσιάζουν μία υστέρηση της τάξης των 2 ή 3 ημερών. Η χρονική αυτή υστέρηση πιθανόν να οφείλεται μεταξύ άλλων παραγόντων και στην έλλειψη δεδομένων απορροών για τις επιμέρους υπολεκάνες, καθώς η ύπαρξή τους θα διευκόλυνε τη διαδικασία διόδευσης κατά τη ρύθμιση του μοντέλου, καθώς επίσης και σε κάποια πιθανή χρονική ασυνέπεια της λήψης των παρατηρήσεων.

Για το χρονικό διάστημα της περιόδου ρύθμισης των ετών 1985-87, η μέση υπολογισμένη παροχή ήταν 13.82 m^3/sec, η μέση μετρημένη απορροή ήταν 12.11 m^3/sec, η ολική υπολογισμένη απορροή ανήλθε σε 1395 mm, η ολική μετρημένη απορροή ανήλθε σε 1222 mm, το μέσο σφάλμα εκτίμησης (ΜΕ) ήταν -1.71 m^3/sec και η τιμή του κριτηρίου των Nash-Sutcliffe [8] ήταν -0.39. Για το χρονικό διάστημα της περιόδου πρόβλεψης των ετών 1991-92, η μέση υπολογισμένη παροχή ήταν 12.70 m^3/sec, η μέση μετρημένη απορροή ήταν 11.61 m^3/sec, η ολική υπολογισμένη απορροή ανήλθε σε 856 mm, η ολική μετρημένη απορροή ανήλθε σε 782 mm, το μέσο σφάλμα εκτίμησης (ΜΕ) ήταν -1.09 m^3/sec και η τιμή του κριτηρίου των Nash-Sutcliffe ήταν -1.07.



Σχήμα 5. Μετρημένο και υπολογισμένο υδρογράφημα απορροής της περιόδου πρόβλεψης των ετών 1991-92 στην υδρολογική λεκάνη του ποταμού Αλμωπαίου.

Ένα σημαντικό πλεονέκτημα του υδρολογικού μοντέλου SLURP, είναι η ικανότητά του να εξάγει λεπτομερειακά αποτελέσματα σχετικά με το κατακόρυφο υδατικό ισοζύγιο, για την ποσότητα της κάθε δεξαμενής, καθώς επίσης και για τους μηχανισμούς με τους οποίους ποσότητα νερού κινείται από τη μία δεξαμενή στην άλλη. Τα αποτελέσματα αυτά, μπορούν να εξαχθούν για όλο το διάστημα της υδρολογικής προσομοίωσης, για όλες τις χρήσεις γης καθώς επίσης και για κάθε υπολεκάνη.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην εργασία αυτή γίνεται προσομοίωση σε ημερήσια βάση των διαφόρων φάσεων του υδρολογικού κύκλου (εξάτμιση, διαπνοή, διήθηση, κατείσδυση, απορροή κ.λπ.) της υδρολογικής λεκάνης του ποταμού Αλμωπαίου με την εφαρμογή του κατανεμημένου

υδρολογικού μοντέλου συνεχούς προσομοίωσης SLURP σε συνδυασμό με GIS. Τα GIS χρησιμοποιούνται για την αποθήκευση, την ανάλυση και την εξαγωγή όλων των πληροφοριών της υδρολογικής λεκάνης που απαιτεί το μοντέλο SLURP, το οποίο για τη προσομοίωση χρησιμοποιεί τέσσερεις δεξαμενές. Οι ημερήσιες παροχές που εκτιμήθηκαν στην έξοδο της λεκάνης του ποταμού Αλμωπαίου με την εφαρμογή του μοντέλου SLURP και τη χρησιμοποίηση του ψηφιακού μοντέλου εδάφους, των χρήσεων γης, των ημερήσιων δεδομένων των μετεωρολογικών μεταβλητών και του δείκτη φυλλικής επιφάνειας (LAI) και των εδαφικών υγρασιακών σταθερών κατά τις περιόδους ρύθμισης και πρόβλεψης συγκρίθηκαν με τις αντίστοιχες μετρημένες παροχές και τα αποτελέσματα ήταν ικανοποιητικά. Ένα σημαντικό πλεονέκτημα του υδρολογικού μοντέλου SLURP, είναι η ικανότητά του να εξάγει λεπτομερειακά αποτελέσματα σχετικά με το κατακόρυφο υδατικό ισοζύγιο για όλο το διάστημα της υδρολογικής προσομοίωσης, για όλες τις χρήσεις γης καθώς επίσης και για κάθε υπολεκάνη που οδηγούν στην εκτίμηση των ημερήσιων τιμών της συγκράτησης νερού από τη φυτοκάλυψη, της διήθησης, της κατείσδυσης, της πραγματικής εξάτμισης και διαπνοής, της επιφανειακής απορροής, της ενδορροής, της βασικής απορροής και της ολικής απορροής.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ευχαριστίες εκφράζονται προς το Υπουργείο Εθνικής Παιδείας και Θρησκευμάτων και προς την Ευρωπαϊκή Ένωση για την οικονομική υποστήριξη της εργασίας αυτής στα πλαίσια του ερευνητικού προγράμματος (No 80869, ΕΠΕΑΕΚ-ΠΥΘΑΓΟΡΑΣ ΙΙ).

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Singh, V.P. 1995. *Computer models of watershed hydrology.* Water resources publication,1130 p.
2. Παπαμιχαήλ, Δ. 2001. *Τεχνική υδρολογία επιφανειακών υδάτων.* Εκδόσεις Γιαχούδη – Γιαπούλη, Θεσσαλονίκη, 394 σελ.
3. Kite, G.W., Ellehoj, E. and Dalton, A. 1996. *GIS for large-scale watershed modelling.* In: GIS in Hydrology by V.P. Singh & M. Fiorentino (eds.), Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands, 249-279.
4. Lacroix, M.P., Martz, L.W., Kite, G.W. and Garbrecht, J. 2002. Using digital terrain analysis modelling techniques for the parameterization of a hydrologic model. *Environmental Modelling & Software,* 17(2): 127-136.
5. Kite, G.W. 2004. *Manual for the SLURP hydrological model.* Version 12.6, Hydrologic-Solutions.
6. Neitsch, S.L., Arnold, J.G., Kiniry, J.R., Williams, J.R. and King, K.W. 2002. *SWAT 2000. Theoretical documentation.* Grassland, Soil & Water Research Laboratory, Temple, TexasGSWRL Report 02-01, 506 p.
7. Christiaens, K. and Feyen, J. 2001. Analysis of uncertainties associated with different methods to determine soil hydraulic properties and their propagation in the distributed hydrological MIKE SHE model. *Journal of Hydrology,* 246 (1): 63-81.
8. Γεωργούλιας, Γ. 2006. *Διερεύνηση του υδρολογικού μοντέλου βροχής – απορροής SLURP και εφαρμογή του στη λεκάνη απορροής του ποταμού Αλμωπαίου.* Μεταπτυχιακή Διατριβή, Γεωπονική Σχολή Α.Π.Θ., 234 σελ.
9. Garbrecht, J. and Campbell, J. 1997. *TOPAZ Version 1.20. An automated digital landscape analysis tool for topographic evaluation, drainage identification, watershed segmentation and subcatchment parameterization, User Manual.* Rep.# GRL 97-4, Grazinglands Research Laboratory, USDA, Agricultural Research Service, El Reno, Oklahoma.

10. Papamichail, D.M. and Terzidis, G.A. 1996. Assessment of the meteorological parameters effect on the daily Penman reference crop evapotranspiration. *Acta Horticulture,* Number 449, Volume 1, 281-288.
11. Γεωργίου, Π.Ε., Παπαμιχαήλ, Δ.Μ. και Παπαζαφειρίου, Ζ. 2000. Συγκριτική αξιολόγηση των μεθόδων Penman και Penman-Monteith με τη βοήθεια εκτιμήσεων εξατμισοδιαπνοής αναφοράς στην Ελλάδα. *Πρακτικά 5ου Πανελλήνιου Επιστημονικού Συνεδρίου Μετεωρολογίας - Κλιματολογίας - Φυσικής της Ατμόσφαιρας, Θεσσαλονίκη,* 395-402.
12. Παπαμιχαήλ, Δ.Μ. και Γεωργίου, Π.Ε. 1999. Συγκριτική ανάλυση των ωριαίων και ημερήσιων εκτιμήσεων της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς με τη μέθοδο FAO Penman - Monteith. *Πρακτικά 4ου Εθνικού Συνεδρίου ΕΕΔΥΠ,* Βόλος, τεύχος Α΄, 183-189.
13. Duan, Q., Sorooshian, S. Soroosh and Gupta, V.K. 1994. Optimal use of the SCE-UA global optimization method for calibrating watershed models. *Journal of Hydrology,* 158: 265-284.
14. Νάκος Γ. 1977. *Συμβολή εις την μελέτην των δασικών εδαφών της Ελλάδος: Φυσικαί, Χημικαί και βιολογικαί ιδιότητες.* Υπουργείο Γεωργίας. Γενική Διεύθυνση Δασών και Δασικού Περιβάλλοντος. Ίδρυμα Δασικών Ερευνών Αθηνών, 62 σελ.

(163)

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΓΕΩΡΓΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΩΝ ΜΕ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ΣΤΗΡΙΞΗΣ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

Δ.Δ. Μπόχτης[1], Σ.Γ. Βουγιούκας, Ι.Γ. Αμπατζίδης και Κ.Α. Τσατσαρέλης

[1]Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Γεωπονική Σχολή, Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας, Τ.Κ. 54124 Θυρίδα 275 Θεσσαλονίκη.
e-mail:dionmpo@agro.auth.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εργασία αυτή, παρουσιάζεται ένα λογισμικό στήριξης αποφάσεων σχετικών με την ανάθεση εργασιών ομάδας γεωργικών μηχανημάτων. Το σύστημα αυτό βασίζεται στην προσομοίωση του βέλτιστου σχεδιασμού και εκτέλεσης της εργασίας, η οποία χρησιμοποιεί τις καλύτερες διαθέσιμες προβλέψεις κάθε άγνωστης παραμέτρου της εργασίας καθώς αυτή εξελίσσεται. Χρησιμοποιώντας τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων ο γεωργός/διαχειριστής μπορεί να αξιολογήσει την αποδοτικότητα των εναλλακτικών επιλογών του, σχετικά με τους συνδυασμούς των μηχανημάτων, των συστημάτων κυκλοφορίας στον αγρό καθώς και των συστημάτων εκτέλεσης εργασιών.

A DESITION SUPPORT SYSTEM DEVELOPMENT FOR THE EVALUATION OF MACHINERY MANAGEMENT SYSTEMS

D.D. Bochtis[1], S.G. Vougioukas, Y.G. Ampatzidis and C.A. Tsatsarelis

[1] Aristotle University of Thessaloniki, Sch. of Agriculture Department of Hydraulics, Soil Science and Agriculture Engineering, 54124, Box 275, Thessaloniki, Greece

ABSTRACT

This paper presents a software tool that supports machinery management decisions. This tool is based on the simulation of the optimal machine operation planning and execution, which uses the best available estimates of any unknown parameters for the operation while the operation proceeds. Based on the simulations results, a farm manager can evaluate the field efficiency of the selected combinations, and also to consider field traffic and field-work pattern systems, alongside with their environmental and economical effects.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σύμφωνα με τις τρέχουσες τάσεις, τα γεωργικά μηχανήματα σχεδιάζονται συνεχώς μεγαλύτερα και συνεπώς ακριβότερα. Με βάση τις οικονομίες κλίμακας, πάνω στην οποία βασίζεται η τάση αυτή, για να προσεγγιστεί ικανοποιητικά ο θεωρητικός βαθμός απόδοσης αυτών των μηχανών, χρειάζεται αυξημένη αντιστοιχία εκτάσεως ανά μηχανή. Για την ελληνική πραγματικότητα, οι μικροί κλήροι δεν βοηθούν προς αυτή την κατεύθυνση. Λόγω του υψηλού κόστους κτήσης των σύγχρονων μηχανημάτων και ιδίως των μηχανών συγκομιδής, οι παραγωγοί προσανατολίζονται σε μορφές επαγγελματικής, ομαδικής ή συνεταιριστικής χρήση, είτε σε άλλες μορφές διαχείρισης (όπως οι δακτύλιοι γεωργικών μηχανημάτων), πολλές από τις οποίες ενθαρρύνονται και προωθούνται από την Ε.Ε. Η προοπτική αυτού του τρόπου διαχείρισης, δημιουργεί αμέσως την ανάγκη της διαχείρισης, όχι πλέον μεμονωμένων γεωργικών μηχανημάτων αλλά στόλου γεωργικών οχημάτων.

Από την άλλη, εάν μελλοντικά μεγαλύτερες ομάδες μικρότερων αυτόνομων μηχανών αντικαταστήσουν τις μικρές ομάδες των μεγάλων μηχανών, το μέγεθος και η σύνθεση αυτών, θα πρέπει να επιλεγεί προσεκτικά. Σε κάθε περίπτωση απαιτούνται διαχειριστές (είτε επαγγελματίες είτε οι ίδιοι οι γεωργοί) και συνεπώς εργαλεία και συστήματα στήριξης αποφάσεων.

Μια προσέγγιση αυτών των συστημάτων, που επιχειρείται τα τελευταία χρόνια, είναι η τροποποίηση πακέτων λογισμικού, αρχικά προ-οριζόμενων για προσομοίωση βιομηχανικών διαδικασιών [1,2]. Η μέθοδος αυτή εκμεταλλεύεται τις ομοιότητες μεταξύ της βιομηχανικής αλυσίδας παραγωγής και της διαδικασίας παραγωγής αγροτικών προϊόντων. Στην πρώτη περίπτωση η μηχανή είναι ακίνητη ενώ το προς παραγωγή ή επεξεργασία αντικείμενο κινείται μέσω μηχανισμών μεταφοράς. Στη δεύτερη περίπτωση αντίθετα, η μηχανή κινείται προς το αντικείμενο (π.χ. το φυτό) στο οποίο πρέπει να γίνει κάποιου είδους εργασία.

Οι απαραίτητες παράμετροι για τέτοιου είδους προσομοίωση μπορούν να εξαχθούν από την αξιολόγηση χωρικών και χρονικών συλλεγμένων στοιχείων κατά τις εκτελέσεις των αντίστοιχων εργασιών. Σε μια εργασία συγκομιδής για παράδειγμα, οι σχετικές πληροφορίες αφορούν στο ρυθμό εργασίας της μηχανής, στην κατανομή της ταχύτητας μετακίνησης, στο ενεργό πλάτος εργασίας, καθώς και σε μη παραγωγικές δραστηριότητες όπως οι ελιγμοί, ή διακοπές της εργασίας οφειλόμενες στην έλλειψη συγχρονισμό των συν-εργαζόμενων μηχανών όπως μεταξύ των μηχανών συγκομιδής και των βοηθητικών οχημάτων μεταφοράς του καρπού ή σε μια εργασία ψεκασμού, μεταξύ των μηχανών ψεκασμού και των βοηθητικών οχημάτων ανεφοδιασμού [3,4,5,6].

Παρά τις εννοιολογικές ισοδυναμίες υπάρχουν θεμελιώδεις διαφορές μεταξύ της βιομηχανικής και της αγροτικής διαδικασίας παραγωγής. Σε μια βιομηχανική διαδικασία παραγωγής το περιβάλλον είναι ελεγχόμενο. Επιπλέον, τα βιομηχανικά προϊόντα συγκεκριμένου είδους είναι ταυτόσημα όσο αφορά τις δηλωτικές τους παραμέτρους. Σε μια αγροτική διαδικασία παραγωγής κανένα από τα δύο προηγούμενα δεν ισχύει. Για την απαίτηση εργασίας μόνο πιθανολογικές εκτιμήσεις είναι διαθέσιμες. Για παράδειγμα, η παραλλακτικότητα της απόδοσης του αγρού που δεν είναι γνωστή εκ των προτέρων, καθορίζει τη εξέλιξη της συνολικής διαδικασίας επηρεάζοντας τις χρονικές στιγμές που η προσωρινή αποθήκη καρπού της μηχανής συγκομιδής γεμίζει και πρέπει να αδειάσει. Επιπλέον, πολλές από τις παραμέτρους τις διαδικασίας εξαρτώνται από το σύστημα που ακολουθείται για την κάλυψη της επιφάνειας εργασίας, για το σύστημα της εντός αγρού κυκλοφορίας των βοηθητικών οχημάτων και τις ικανότητες των χειριστών καθώς και την συν-εργασιμότητά τους.

Στην εργασία αυτή, υποτίθεται ότι η λύση στο πρόβλημα της ανάθεσης εργασιών μιας ομάδας γεωργικών μηχανημάτων θα πρέπει να βασίζεται στην προσομοίωση του

βέλτιστου σχεδιασμού και της βέλτιστης εκτέλεσης της εργασίας, η οποία χρησιμοποιεί τις καλύτερες διαθέσιμες προβλέψεις κάθε άγνωστης παραμέτρου της εργασίας καθώς αυτή εξελίσσεται. Μια τέτοιου είδους προσομοίωση, θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί από μια συνδυαστική μέθοδο βελτιστοποίησης, για τον υπολογισμό της καλύτερης επιλογής του μεγέθους και της σύνθεσης της ομάδας των οχημάτων. Η βελτιστοποίηση της εργασίας αναφέρεται στην ελαχιστοποίηση κάποιου κόστους ορισμένου από τον χρήστη, όπως ο συνολικός χρόνος της εργασίας, ή η συνολική διανυθείσα απόσταση από τις μηχανές κτλ. Δεδομένου του ότι η ακρίβεια της εκτέλεσης των εργασιών εναπόκειται στην επιδεξιότητα των ανθρώπων-χειριστών, η ενσωμάτωση βέλτιστων διαδικασιών της εργασίας στην προσομοίωση παρέχει το κάτω όριο της λύση του προβλήματος της ανάθεσης των μηχανών. Μια τέτοια λύση παρέχει την «ελάχιστη» ομάδα των απαιτούμενων μηχανών για την ολοκλήρωση της εργασίας με το ελάχιστο κόστος, δεδομένων όλων των παραμέτρων και των περιορισμών. Η ραγδαία ανάπτυξη και εισαγωγή στις γεωργικές εργασίες συστημάτων όπως τα συστήματα αυτόματης η υποβοηθούμενης πλοήγησης και η προοπτική των αυτόνομων μηχανών, αποδίδουν την προσέγγιση αυτή του προβλήματος ρεαλιστική [7,8,9,10,11,12].

Παρακάτω, δίνεται μια σύντομη παρουσίαση του λογισμικού προσομοίωσης που βασίζεται σε αυτή την αρχή και δίνονται παραδείγματα εφαρμογής του σε εργασία συγκομιδής. Το ιδιαίτερο χαρακτηριστικό του συστήματος προσομοίωσης είναι το ότι η απόδοση του χωραφιού καθώς και οι παράγοντες τους οποίους επηρεάζει όπως η ταχύτητα μετακίνησης της μηχανής δεν είναι γνωστά κατά την εκκίνηση της εργασίας. Αντιθέτως, παρέχονται στο πρόγραμμα προσομοίωσης καθώς αυτή εκτελείται, όπως ακριβώς σε μια πραγματική εργασία συγκομιδής όπου η απόδοση μετά το τρέχον σημείο είναι άγνωστη. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να λαμβάνεται υπόψη στη προσομοίωση, η δυναμική φύση της εργασίας συγκομιδής και συνεπώς τα αποτελέσματα να είναι πιο ρεαλιστικά.

2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Το ανεπτυγμένο σύστημα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την προσομοίωση οποιαδήποτε γεωργικής εργασίας γεωργικού μηχανήματος που αφορά «κάλυψη» έκτασης. Οι εργασίες αυτές μπορεί να είναι:

- Εργασίες εκτελούμενες από μια μηχανή: Στην κατηγορία αυτή ανήκουν όλες οι εργασίες κατεργασίας του εδάφους (όργωμα, σβάρνισμα, καλλιεργητής, κτλ.) εργασίες περιποίησης χόρτου κτλ., καθώς επίσης και εργασίες συγκομιδής ή ψεκασμού και λίπανσης όπου οι μονάδες απόθεσης του καρπού ή οι μονάδες ανεφοδιασμού αντίστοιχα δεν μετακινούνται.
- Εργασίες όπου συμμετέχουν περισσότερες από μια μη συν-εργαζόμενες μηχανές. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν όλες οι εργασίες της προηγούμενης κατηγορίας εφόσον πραγματοποιούνται από πολλές μηχανές ταυτόχρονα.
- Εργασίες όπου συμμετέχουν περισσότερες από μια συν-εργαζόμενες μηχανές. Για παράδειγμα η εργασία συγκομιδής που πραγματοποιείται από μηχανές συγκομιδής που υποστηρίζονται από βοηθητικά οχήματα μεταφοράς του καρπού.

Τα δεδομένα εισόδου τα οποία παρέχονται στον προσομοιωτή είναι τα ακόλουθα:

Αγρός: Τα δεδομένα αυτά αφορούν στην επιφάνεια και στη γεωμετρία του αγρού στην οποία λαμβάνει χώρα η εργασία, καθώς και στις θέσεις που βρίσκονται διάφορα στοιχεία (όταν η εργασία σχετίζεται με αυτά) όπως ο χώρος στάθμευσης της μηχανής, τα σιλό αποθήκευσης, τα φορτηγά μεταφοράς, η μονάδες ανεφοδιασμού κτλ.

Μηχανήματα: Στην περίπτωση της συγκομιδής για παράδειγμα, η είσοδος αυτή αφορά στον αριθμό των μηχανών συγκομιδής, στον αριθμό των βοηθητικών οχημάτων και των φορτηγών μεταφοράς και τα χαρακτηριστικά των αυτών των μηχανών/οχημάτων (ελάχιστη ακτίνα στροφής, χωρητικότητες δοχείων, το πλάτος εργασίας, κτλ.).

Σύστημα κυκλοφορίας: Υπάρχουν διαθέσιμες δύο επιλογές για το σύστημα κυκλοφορίας των βοηθητικών οχημάτων σχετικά με το είδος των διαδρομών που επιτρέπεται να ακολουθήσουν. Σύμφωνα με τον πρώτο τρόπο τα οχήματα περιορίζονται να πραγματοποιούν τους ελιγμούς μόνο στα σύνορα του αγρού (κεφαλάρια). Ακολουθώντας αυτό το σύστημα θα πρέπει να εισέρχονται στη διαδρομή του αγρού όπου θα συναντήσουν τη μηχανή συγκομιδής κινούμενα κατά την ίδια κατεύθυνση με την οποία αυτή κινείται. Σύμφωνα με τη δεύτερη επιλογή τα βοηθητικά οχήματα επιτρέπεται να κινούνται ελεύθερα μέσα στην συγκομισμένη περιοχή. Αυτό σημαίνει ότι επιτρέπεται να πραγματοποιούν ελιγμούς αναστροφής πορείας στο εσωτερικό του χωραφιού.

Σύστημα εκτέλεσης εργασίας: Αφορά στην ανάθεση περιοχών το αγρού (διαδρομών) σε κάθε μηχανή, στο σύστημα κάλυψης της επιφάνειας (περιφερειακό σύστημα, σύστημα παράλληλων διαδρομών) και στη διαδοχή διαδρομών στο σύστημα που πρέπει να ακολουθηθεί.

Αρχική κατάσταση του συστήματος: Τα δεδομένα αυτά αφορούν στις αρχικές θέσεις των μηχανών και των βοηθητικών οχημάτων και στο αρχικό τους φορτίο (εάν υπάρχει). Επίσης αρχικές τιμές δίνονται σε όλες τις στοχαστικές παραμέτρους του συστήματος. Αυτές είναι: η μέση απόδοση του αγρού, η μέση ταχύτητα εργασίας της κάθε μηχανής και οι μέσες εντός εκτός αγρού ταχύτητες μετακίνησης των βοηθητικών οχημάτων.

Το μεγαλύτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η εργασία συγκομιδής, καθώς είναι η εργασία με τους μεγαλύτερους χρονικούς περιορισμούς. Επιπλέον, η εργασία της συγκομιδής υπόκεινται σε μεγάλη αβεβαιότητα λόγω της χωρικής παραλλακτικότητας της απόδοσης του αγρού. Για την περίπτωση της εργασίας συγκομιδής, η δομή της προσομοίωσης έχει περιληπτικά ως εξής: μετά την έναρξη της προσομοίωσης, ανά ένα προκαθορισμένο χρονικό διάστημα ένα βήμα της προσομοίωσης λαμβάνει χώρα. Σε κάθε χρονικό βήμα, *m* διανύσματα κατάστασης λαμβάνονται από το «κέντρο διαχείρισης» του προσομοιωτή, ένα από κάθε μηχανή συγκομιδής, και *n* διανύσματα κατάστασης, ένα από κάθε βοηθητικό όχημα μεταφοράς. Τα διανύσματα κατάστασης περιέχουν τη θέση κάθε μηχανής/οχήματος (x, y συντεταγμένες) το φορτίο που μεταφέρει, και την επιχειρησιακή του κατάστασή (εάν βρίσκονται σε διαδικασία ξεφορτώματος ή όχι και εάν αυτό συμβαίνει εν στάση ή εν κινήσει). Από την αξιολόγηση των διανυσμάτων κατάστασης των μηχανών/οχημάτων, ενημερώνονται οι στοχαστικές παράμετροι της εργασίας. Χρησιμοποιώντας τις νέες τιμές αυτών των παραμέτρων, το πρόγραμμα προσομοίωσης προβλέπει τις πιθανές θέσεις που θα συμβεί το επόμενο γέμισμα της προσωρινής αποθήκης κάθε μηχανής καθώς επίσης και τον υπολειπόμενο χρόνο μέχρι να συμβεί. Με αυτές τις τελευταίες πληροφορίες λύνεται το πρόβλημα βελτιστοποίησης του σχεδιασμού διαδρομών με χρονικούς περιορισμούς και περιορισμούς χωρητικότητας. Για τη λύση του δυναμικού προβλήματος βελτιστοποίησης, το πρόγραμμα προσομοίωσης χρησιμοποιεί μια αλγοριθμική προσέγγιση που προτείνεται στην εργασία [13]. Ο αλγόριθμος ελαχιστοποιεί τη διανυθείσα απόσταση των βοηθητικών οχημάτων και την πιθανότητα για μια μηχανή συγκομιδής να διακόψει την εργασία της. Η έξοδος της βελτιστοποίησης δίνει την ανάθεση των μηχανών στα οχήματα, τη σειρά με την οποία το οχήματα εξυπηρετούν τις μηχανές καθώς και τις διαδρομές που πρέπει να ακολουθήσει κάθε όχημα.

Στο τέλος κάθε βήματος της προσομοίωσης τα οχήματα κινούνται κατά μήκος των νέων τους διαδρομών και οι μηχανές συγκομιδής σύμφωνα με το προκαθορισμένο

σύστημα εκτέλεσης της εργασίας. Η απόδοση που αντιστοιχεί στη συγκεκριμένη στοιχειώδη έκταση που πρόκειται κάθε μηχανή να καλύψει κατά το επόμενο χρονικό βήμα, παρέχεται στον προσομοιωτή, και κάθε μηχανή «συγκομίζει» την αντίστοιχη ποσότητα του καρπού. Η προηγούμενη διαδικασία επαναλαμβάνεται σύμφωνα με τον προκαθορισμένο χρόνο δειγματοληψίας.

Στο *Σχήμα 1* παριστάνεται η αρχιτεκτονική της προσομοίωσης. Το πρόγραμμα προσομοίωσης έχει αναπτυχθεί με τη χρήση της γλώσσας τεχνικού προγραμματισμού MATLAB®.

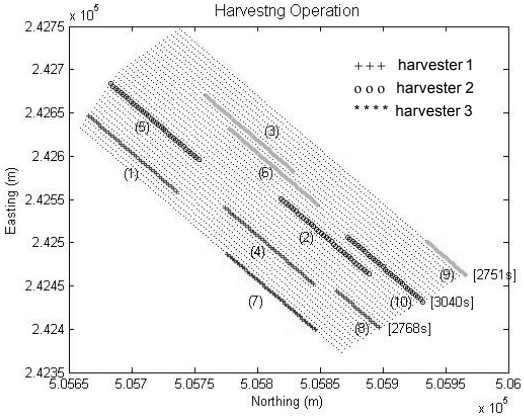
Σχήμα 1. Το διάγραμμα ροής της προσομοίωσης.

3. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

Το παρακάτω παράδειγμα εφαρμογής αναφέρεται στη συγκομιδή ενός αγροτεμαχίου χειμερινών σιτηρών έκτασης 55 στρεμμάτων. Η προσομοίωση βασίζεται στο χάρτη της απόδοσης του αγρού που δημιουργήθηκε κατά τη συγκομιδή. Ο χάρτης αυτός αποτελεί την πραγματικότητα που θα αντιμετωπίσει η ομάδα των μηχανών που συμμετέχουν στο σενάριο προσομοίωσης και η οποία είναι άγνωστη εκ των προτέρων. Στο σενάριο της προσομοίωσης θεωρούμε ότι τρεις μηχανές έχουν αναλάβει τη συγκομιδή και εξυπηρετούνται από δύο βοηθητικά οχήματα μεταφοράς εκτός αγρού του καρπού και συγκεκριμένα σε ένα σιλό (ή σταθμευμένο φορτηγό) στο Νότιο-Ανατολικό άκρο του αγρού. Βέβαια, παρόλο που το μέγεθος της καλλιέργειας είναι δυσανάλογο προς την επιλεγμένη ομάδα, η επιλογή αυτή γίνεται μόνο για λόγους ευκρινέστερης παρουσίασης του συστήματος. Ο αγρός χωρίζεται σε τρία τμήματα (10 διαδρομές ανά τμήμα) και κάθε ένα αναλαμβάνεται από μια μηχανή. Το πλάτος κοπής κάθε μηχανής είναι το ίδιο με αυτό που χρησιμοποιήθηκε κατά την πραγματική συγκομιδή (5 m). Οι μηχανές ακολουθούν το σύστημα των παράλληλων διαδρομών ξεκινώντας από τη μέση του τμήματος που τους έχει ανατεθεί και «ανοίγοντας» προς τα άκρα του. Στο *Σχήμα 3* και στον *Πίνακα 1* παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για τα εξής δεδομένα: χωρητικότητες δοχείων προσωρινής αποθήκευσης των μηχανών: CH_1=4 t, CH_2=6 t και CH_3=6 t, χωρητικότητες βοηθητικών οχημάτων: CC_1=12 t και CC_2=18 t. Η κίνηση των μηχανών είναι ακριβής αναπαράσταση της κίνησης της μηχανής που συμμετείχε στην πραγματική εργασία της οποίας η μέση ταχύτητα είναι 1,4 m/s. Οι ταχύτητες μετακίνησης των βοηθητικών οχημάτων είναι συνάρτηση του φορτίου που μεταφέρουν με μέση τιμή εντός αγρού 2 m/s και εκτός αγρού 2,4 m/s και υπολογίζεται σε κάθε βήμα της προσομοίωσης. Ο ρυθμός με τον οποίο αδειάζει η προσωρινή αποθήκη έχει τεθεί 75 l/s και για το βοηθητικό όχημα προς το σιλό 105 l/s.

Στο παράδειγμα αυτό, τα βοηθητικά οχήματα ακολουθούν πορείες σύμφωνα με τη δεύτερη επιλογή συστήματος κυκλοφορίας του οποίου η περιγραφή έχει δοθεί στην προηγούμενη παράγραφο και συνεπώς είναι περιορισμένα να πραγματοποιούν ελιγμούς στα όρια του χωραφιού (κεφαλάρια). Βέβαια, αυτό προκαλεί χρονικές απώλειες που μπορούν να οδηγήσουν σε καθυστέρηση στην εξυπηρέτηση των μηχανών. Εάν

προσομοιώσουμε την ίδια εργασία με επιλεγμένο το δεύτερο σύστημα κυκλοφορίας οι νεκροί χρόνοι των μηχανών (χρόνοι αναμονής) που αναφέρονται στον *Πίνακα 1* μηδενίζονται. Ο γεωργός-διαχειριστής θα πρέπει να εκτιμήσει τη σχέση μεταξύ αυτών των νεκρών χρόνων και τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζουν τα συστήματα ελεγχόμενης κυκλοφορίας [14,15,16].



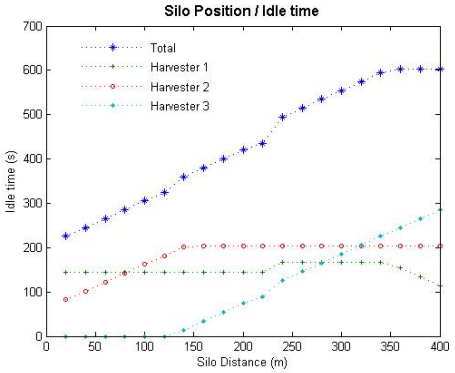
Σχήμα 2. Οι διαδικασίες αδειάσματος της προσωρινής αποθήκης για τις τρεις μηχανές.

Πίνακας 1. Στοιχεία από τα αποτελέσματα της προσομοίωσης

Διαδρομές	Όχημα 1: 1 → 2→ σιλό → 6→ 9→ σιλό Όχημα 2: 3→ 4→ 5→ σιλό → 7→ 8→ 10→ σιλό.
Διανυθείσες αποστάσεις	Όχημα 1: 2.012 m Όχημα 2: 4.335 m
Χρόνος σε αναμονή	Μηχανή 1 : 120 s Μηχανή 2 : 268 s Μηχανή 3: 45 s
Διάρκεια:	3.255 s

Όλοι οι παράμετροι που έχουν προαναφερθεί μπορούν να μεταβληθούν αναλόγως της περίπτωσης που πρέπει να αξιολογηθεί. Για παράδειγμα στο *Σχήμα 3* παρουσιάζεται η μεταβολή των ανενεργών χρόνων των μηχανών για διάφορες θέσεις τοποθέτησες του σιλό (ή του φορτηγού μεταφοράς). Η θέση 0 στο διάγραμμα αντιστοιχεί στο κέντρο της Νότιας πλευράς του αγρού.

Στους *Πίνακες 2* και *3* δίνονται ενδεικτικά αποτελέσματα από προσομοιώσεις συγκομιδής στον προηγούμενο αγρό που αφορούν στη χρήση 2 ή 3 μηχανών συγκομιδής αντίστοιχα, για διάφορους αριθμούς βοηθητικών οχημάτων και διάφορες τιμές της χωρητικότητας τους. Βασιζόμενος σε στοιχεία τέτοιων προσομοιώσεων, ο γεωργός-διαχειριστής μπορεί να αξιολογήσει το κόστος της χρήσης ενός επιπλέον οχήματος μεταφοράς σε σχέση με το χρόνο τον οποίο κερδίζει [17]. Επίσης, μπορεί να αξιολογήσει το χρόνο που εξοικονομεί από τη χρήση οχήματος με μεγαλύτερη χωρητικότητα σε σχέση με την συμπίεση που προκαλεί στο έδαφος το αυξημένο φορτίο που μεταφέρει.



Σχήμα 3. Ο νεκρός χρόνος των μηχανών αυξάνει καθώς το σιλό τοποθετείται ανατολικότερα του κέντρου της νότιας πλευράς του αγρού.

Πίνακας 2. Αποτελέσματα προσομοίωσης για συγκομιδή με χρήση 2 μηχανών

Αριθμός βοηθητικών οχημάτων	Χωρητ.. (t)	Ανενεργός χρόνος (s)			Διανυθείσα απόσταση βοηθ. οχ. (km)	Διάρκεια εργασίας (s)
		Μηχανή 1	Μηχανή 2	Συνολικός		
1	12	440	87	527	6,996	5.090
1	18	118	167	285	6,926	4.845
2	12	73	181	254	6,068	4.794
2	18	87	12	99	5,491	4.639

Πίνακας 3. Αποτελέσματα προσομοίωσης για συγκομιδή με χρήση 3 μηχανών

Αριθμός βοηθ. οχημ.	Χωρητ. (t)	Ανενεργός χρόνος (s)				Διανυθείσα απόσταση βοηθ. οχ. (km)	Διάρκεια εργασίας (s)
		Μηχανή 1	Μηχανή 2	Μηχανή 3	Συνολικός		
1	12	272	33	414	719	7,020	3.210
1	18	205	0	291	496	6,932	3.087
2	12	236	31	7	274	6,106	2.819
2	18	108	30	0	138	5,946	2.691
3	12	0	0	0	0	5,167	2.624

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην εργασία αυτή δόθηκε μια σύντομη περιγραφή ενός λογισμικού προσομοίωσης για την στήριξη αποφάσεων σχετικών με την ανάθεση μηχανών. Το πρόγραμμα της προσομοίωσης περιέχει αλγορίθμους βελτιστοποίησης οι οποίοι ενσωματώνουν τη δυναμική φύση των εργασιών αγρού. Οι πληροφορίες που παρέχονται από τη χρήση της προσομοίωσης αφορούν στην απόδοση των επιλεγμένων συνδυασμών μηχανών. Με τη χρήση του συστήματος ο διαχειριστής μπορεί να εκτιμήσει την εργασία πριν την πραγματική εκτέλεση της ώστε να βοηθηθεί στην επιλογή των αποφάσεων του. Μπορεί επίσης να αξιολογήσει συστήματα κυκλοφορίας στον αγρό καθώς και συστήματα εκτέλεσης εργασιών σε σχέση με τις οικονομικές και περιβαλλοντικές τους επιδράσεις. Επιπλέον, η χρήση του λογισμικού αυτού επιτρέπει την αξιολόγηση συστημάτων που δεν έχουν χρησιμοποιηθεί ακόμη. Τέλος, η αλγοριθμική προσέγγιση του συστήματος

είναι προσανατολισμένη για τη λύση προβλημάτων ανάθεσης για τα μελλοντικά συστήματα παραγωγής με τη χρήση αυτόνομων γεωργικών οχημάτων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

8. Benson, E. R., Hansen, A. C., Reid, J. F., Warman, B.L. and Brand, M.A. 2002. Development of an in-field grain handling simulation in ARENA. *ASAE Paper*. 02-3104. St. 18pp.
9. Kübler, S. and Picke, P. 2006. Development of modular software to simulate farming processes. *XVI CIGR Word Congress*, September 3-7, Bonn Germany. Full paper on CD 6 pp.
10. Grisso, R. D., Jasa, P. J. and Rolofson, D. E. 2001. Analysis of Traffic Patterns and Yield Monitor Data for Field Efficiency Determination. *Applied Eng. Agric*, 18(2), 171-178.
11. Hansen, A.C., Hornbaker, R.H. and Zhang, Q. 2003. Monitoring and analysis of in-field grain handling operations. In: *Proceedings of the International Conference on Crop Harvesting*, Louisville, Kentuky USA. ASEA Publication No 701P1103e.
12. Pierce, F. J. 1997. Yield mapping. *Resource: Engineering & Technology for a Sustainable World,* 4(2), 9–10.
13. Taylor, R.K., Schrock, M.D. and Staggenborg, S.A. 2002. Extracting machinery management information from GPS data. *ASAE Paper* No. 02-10008.
14. Keicher, R. and Seufert, H. 2000. Automatic guidance for agricultural vehicles in Europe. *Computers and Electronics in Agriculture*. 25(1-2), 169-194.
15. Molin, J.P, Cerri, D.G.P., Baio, F.H.R., Torrezan, H.F., Esquerdo, J.C.D.M. and Rípoli, M.L.C. 2002. Evaluation of a Light Bar for Parallel Swathing Under Different Forward Speeds. In *Proceedings of the World Congress of Computers in Agriculture and Natural Resources*, pp. 190-195. ASAE Publication No 701P0301.
16. Reid, J.F., Zhang, Q., Noguchi, N. and Dickson, M. 2000. Agricultural automatic guidance Research in North America. *Computers and Electronics in Agriculture*, 25, 155-167.
17. Stentz, A. , Dima, C., Wellington, C., Herman, H. and Stager, D. 2002. A system for semi-autonomous tractor operations. *Autonomous Robots*, 13(1), 87-103.
18. Torii, T., 2000. Research on autonomous agriculture vehicles in Japan. *Computers and Electronics in Agriculture*, 25(1-2), 133-153.
19. Zhang, Q., Reid, J. F. and Noguchi, N. 1999. Agricultural vehicle navigation using multiple guidance sensors. In: *Proceedings of the International Conference on Field and Service Robotics*.
20. Bochtis, D., Vougioukas, S., Ampatzidis, Y. and Tsatsarelis, C. 2007. On-line Coordination of Combines and Transport Carts during Harvesting Operations. ". *In Proceedings 6th European Conference on Precision Agriculture (ECPA)*, J.V. Stafford, Wageningen Academic Publishers, pp 715-722.
21. Reeder, R.C. 2002. Maximizing Performance in Conservation Tillage Systems – an Overview. ASAE Annual International Meeting, Chicago, Illinois, USA July 28-31.
22. Silburn, D. M., Titmarsh, G.W., Wockner, G.H. and Glanville, S.F. 1995. Tractor wheel compaction effects on infiltration and erosion under rain. In: *Proceedings of National Controlled Traffic Conference,* pp. 138-144, Queensland, Australia.
23. Taylor, J. H. 1983. Benefits of permanent traffic lanes in a controlled traffic crop production system. *Soil & Tillage Research,* **3**, 385-395.
24. Τσατσαρέλης, Κ. 2006. Διαχείριση Γεωργικών Μηχανημάτων. Εκδ. Γιαχούδη, Θεσσαλονίκη.

(165)

ΜΗ-ΓΡΑΜΜΙΚΟΣ ΠΡΟΒΛΕΠΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΒΑΣΕΙ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΓΙΑ ΑΥΤΟΜΑΤΗ ΠΛΟΗΓΗΣΗ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ ΓΕΩΡΓΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ

Σ. Γ. Βουγιούκας
Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Γεωπονική Σχολή, Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας, 54124 Θεσσαλονίκη, Email:bougis@agro.auth.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σε αυτή την εργασία παρουσιάζεται ένας μη-γραμμικός προβλεπτικός ελεγκτής βάσει μοντέλου για πλοήγηση ακριβείας γεωργικών οχημάτων. Ο ελεγκτής δοκιμάστηκε σε πολυάριθμες προσομοιώσεις και ακολούθησε με ακρίβεια τις επιθυμητές τροχιές παρά τα σφάλματα που εισήχθησαν στην αρχική του θέση και τις ασυνέχειες ταχύτητας και προσανατολισμού της επιθυμητής τροχιάς. Η απόδοση του ελεγκτή είναι ανώτερη από αυτή του κλασσικού ελεγκτή «καταδίωξης» και εξαρτάται από παραμέτρους όπως ο ορίζοντας βελτιστοποίησης και τα κόστη σφαλμάτων τροχιάς.

NON LINEAR MODEL PREDICTIVE CONTROL FOR AUTOMATIC GUIDANCE OF AGRICULTURAL VEHICLES

S. G. Vougioukas
Aristotle University of Thessaloniki, Faculty of Agriculture Agricultural Engineering Laboratory, 54124, Thessaloniki, Email: bougis@agro.auth.gr

ABSTRACT

In this paper, a nonlinear model predictive tracking controller is presented for precision guidance in agricultural applications. Numerous simulations were performed and the controller consistently converged to the desired trajectories and followed them accurately, despite large initial errors and discontinuities in the desired velocities and orientations. The controller's performance was superior to pure-pursuit control and depended strongly on parameters such as the optimization horizon M, and the cost-weights assigned to the various tracking errors.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στα πλαίσια της γεωργίας ακριβείας, οι εργασίες όπως η σπορά, η άροση, η λίπανση, ο ψεκασμός κ.α. απαιτούν ακριβή έλεγχο της θέσης των ελκυστήρων και των παρελκομένων. Τα σύγχρονα συστήματα αυτόματης πλοήγησης μπορούν να μας δώσουν ακριβή και επαναλαμβανόμενη παρακολούθηση διαδρομής ευθειών ή καμπύλων γραμμών με σταθερή ταχύτητα η οποία έχει καθοριστεί από τον χειριστή. Στο κοντινό μέλλον αναμένεται ότι οι γεωργικές εργασίες θα βασίζονται σε οχήματα με όλο και μεγαλύτερες δυνατότητες αυτόματης καθοδήγησης και πλοήγησης. Τέτοιου είδους δυνατότητες περιλαμβάνουν για παράδειγμα, απότομες στροφές και ανάστροφες κινήσεις στα κεφαλάρια, έλεγχο ταχύτητας, και τέλος την πλοήγηση ανάμεσα σε εμπόδια. Οι δυνατότητες αυτές απαιτούν την υλοποίηση ψηφιακών ελεγκτών παρακολούθησης επιθυμητής διαδρομής προηγμένης τεχνολογίας. Έχουν προταθεί διάφορες προσεγγίσεις για την παρακολούθηση διαδρομής από αυτόνομα οχήματα, όπως ο κλασσικός ελεγκτής «καταδίωξης» [1], ο έλεγχος δυναμικής αναζήτησης διαδρομής [2] και ο ελεγκτής διανυσματικής καταδίωξης [3]. Για τα εργοστασιακά ρομπότ έχουν επίσης αναπτυχθεί διάφοροι ελεγκτές παρακολούθησης τροχιάς. Η πιο δημοφιλής τεχνική από αυτές είναι ο έλεγχος PID. Είναι γνωστό όμως από τη θεωρία [4] ότι για τα μη ολονομικά συστήματα, όπως τα τροχοφόρα οχήματα στα οποία ισχύει ο περιορισμός της μη-ολίσθησης, οι γραμμικοί ελεγκτές δεν είναι επαρκείς για την παρακολούθηση πολύπλοκων ελιγμών, απότομων στροφών και ανάστροφων κινήσεων.
Έχουν προταθεί ποικίλες τεχνικές ελέγχου για την παρακολούθηση της τροχιάς στα τροχοφόρα ρομπότ, όπως ο γραμμικός χρονικά μεταβαλλόμενος ρυθμιστής (LQR) [5], ο έλεγχος ολίσθησης (sliding mode control) [6] και προβλεπτικός έλεγχος βάσει μοντέλου [7]. Σε αυτή την εργασία προτείνεται ένας ελεγκτής παρακολούθησης τροχιάς οχήματος, ο οποίος χρησιμοποιεί μη-γραμμικό προβλεπτικό έλεγχο βάσει μοντέλου (nonlinear model predictive control - NMPC). Αναπτύσσεται ένας αριθμητικός αλγόριθμος για την εφαρμογή του και παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης τα οποία και δείχνουν την απόδοση του.

2. ΜΗ-ΓΡΑΜΜΙΚΟΣ ΠΡΟΒΛΕΠΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΒΑΣΕΙ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

Στη συνέχεια παρουσιάζεται μία σύντομη περιγραφή της μεθοδολογίας του μη-γραμμικού προβλεπτικού ελέγχου βάσει μοντέλου (nonlinear model predictive control - NMPC). Έστω ένας n-διάστατος χώρος κατάστασης $X \subseteq \mathbb{R}^n$, ένας m-διάστατος χώρος ελέγχου $U \subseteq \mathbb{R}^m$, ένα χρονικό βήμα dt, και η διακριτή εξίσωση ενός συστήματος:

$$\mathbf{x}_{k+1} = \mathbf{f}(\mathbf{x}_k, \mathbf{u}_k), k \geq 0 \qquad (12)$$

όπου, $\mathbf{x}_k \in X$, $\mathbf{u}_k \in U$ και f είναι η εξίσωση του συστήματος. Τα διανύσματα κατάστασης και ελέγχου υπόκεινται σε περιορισμούς που έχουν την ακόλουθη μορφή

$$\mathbf{x}_{\min} \leq \mathbf{x}_k \leq \mathbf{x}_{\max}, \mathbf{u}_{\min} \leq \mathbf{u}_k \leq \mathbf{u}_{\max} \qquad (13)$$

Ας υποθέσουμε ότι $\mathbf{x}_k^d, k = 0,1,...N$ είναι μία επιθυμητή τροχιά η οποία έχει υπολογισθεί εκ των προτέρων και ότι $\mathbf{e}_k = \mathbf{x}_k - \mathbf{x}_k^d$ είναι το στιγμιαίο σφάλμα ανάμεσα στις πραγματική και στην επιθυμητή κατάσταση του συστήματος. Η βασική ιδέα στον μη-γραμμικό προβλεπτικό έλεγχο βάσει μοντέλου είναι να επιλυθεί ένα πρόβλημα ελέγχου πεπερασμένου ορίζοντα βελτιστοποίησης σε κάθε χρονικό βήμα *k*. Δεδομένης της πραγματικής κατάστασης $\mathbf{x}_k$, υπολογίζεται μία βέλτιστη ακολουθία ελέγχου

$\underline{\mathbf{u}}^*_{k,M}$ για τις M χρονικές στιγμές-βήματα στο μέλλον, η οποία μειώνει στο ελάχιστο μία συνάρτηση κόστους J:

$$\underline{\mathbf{u}}^*_{k,M} = [\mathbf{u}^*_k \ \mathbf{u}^*_{k+1} \dots \mathbf{u}^*_{k+M}] = \underset{\mathbf{u}_k, \mathbf{u}_{k+1}, \dots, \mathbf{u}_{k+M}}{\arg\min} \ J \tag{14}$$

Η συνάρτηση κόστους έχει την ακόλουθη μορφή:

$$J = \theta(\mathbf{e}_{k+M+1}) + \sum_{j=k}^{\min(N, k+M)} \phi(\mathbf{x}_j, \mathbf{u}_j) \tag{15}$$

όπου το σφάλμα παρακολούθησης της τελικής κατάστασης του πεπερασμένου ορίζοντα ορίζεται από τη συνάρτηση θ η οποία συνήθως έχει τη μορφή:

$$\theta(\mathbf{e}_{k+M+1}) = \mathbf{e}^T_{k+M+1} \mathbf{Q}_e \mathbf{e}^T_{k+M+1} \tag{16}$$

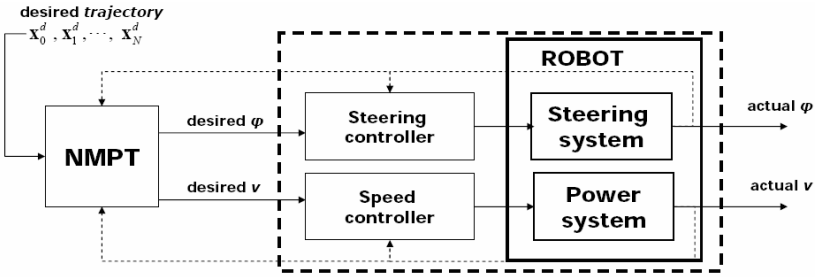
Σε κάθε βήμα, η κατάσταση, το σφάλμα παρακολούθησης και η ακολουθία ελέγχου κατά μήκος του ορίζοντα βελτιστοποίησης συνδέονται με κάποιο κόστος της μορφής:

$$\phi(\mathbf{x}_j, \mathbf{u}_j) = \mathbf{x}^T_j \mathbf{Q}_x \mathbf{x}_j + \mathbf{e}^T_j \mathbf{Q}_e \mathbf{e}^T_j + \mathbf{u}^T_j \mathbf{Q}_u \mathbf{u}_j \tag{17}$$

Σύμφωνα με τη μεθοδολογία ελέγχου NMPC, στο χρονικό βήμα δk εφαρμόζεται το πρώτο στοιχείο της ακολουθίας ελέγχου $\underline{\mathbf{u}}^*_{k,M}$. Στο δείγμα k+1 το σύστημα θα μεταφερθεί σε μία νέα κατάσταση $\mathbf{x}_{k+1}$ η οποία διαφοροποιείται από την προβλεπόμενη σταθερά εξαιτίας διαταραχών και σφαλμάτων του μοντέλου. Στη συνέχεια επιλύεται το πρόβλημα της βελτιστοποίησης, σε κάθε χρονικό βήμα μέχρι το σύστημα να φτάσει την τελική κατάσταση $\mathbf{x}^d_N$ που είναι ο στόχος του. Δεδομένης της ύπαρξης εφικτού ελέγχου για την συγκεκριμένη επιθυμητή τροχιά και εάν όλοι πίνακες Q είναι θετικοί (positive definite), μπορεί να αποδειχθεί η ευστάθεια του ελεγκτή κλειστού βρόχου NMPC [8].

3. ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΤΡΟΧΙΑΣ

Με δεδομένο το δυναμικό μοντέλο ενός ελκυστήρα, ο NMPC θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ως ελεγκτής παρακολούθησης τροχιάς. Όμως ένα πλήρες δυναμικό μοντέλο μπορεί να είναι ιδιαίτερα περίπλοκο, μη-γραμμικό με πολλές μεταβλητές. Η χρήση τέτοιων μοντέλων στον ελεγκτή NMPC θα απαιτούσε υπολογισμούς των οποίων η διεξαγωγή θα ήταν αδύνατη σε πραγματικό χρόνο. Μία άλλη προσέγγιση είναι να απλοποιήσουμε το πρόβλημα: να χρησιμοποιήσουμε την προσέγγιση NMPC σε έναν υψηλού επιπέδου ελεγκτή παρακολούθησης τροχιάς (Non Linear Model Predictive Tracking – NMPT) ο οποίος χρησιμοποιεί ένα απλό κινηματικό μοντέλο οχήματος και να και δυναμικά μοντέλα κλειστού βρόχου για τον έλεγχο κατεύθυνσης (steering) και ταχύτητας (velocity) (Σχήμα 20).



Σχήμα 20. Ιεραρχικός έλεγχος παρακολούθησης τροχιάς

Ένα απλό κινηματικό μοντέλο για ελκυστήρα εμπρόσθιας κίνησης χωρίς ολίσθηση σε χαμηλή ταχύτητα είναι:

$$\dot{x} = v\cos\theta,\ \ \dot{y} = v\sin\theta,\ \ \dot{\theta} = v\frac{\tan\phi}{L} \tag{18}$$

Οι συντεταγμένες *x* και *y* δίνουν τη θέση του κέντρου του άξονα περιστροφής των πίσω τροχών του ελκυστήρα και η γωνία *θ* δίνει τον προσανατολισμό του. Το *L* είναι το μεταξόνιο του οχήματος, η γωνία των εμπρόσθιων τροχών είναι *φ* και η ταχύτητα του οχήματος είναι *v*. Στο χαμηλότερο επίπεδο χρησιμοποιείται ένας ελεγκτής επενεργητών κατεύθυνσης κλειστού βρόχου ο οποίος δημιουργεί ένα «διαχωρισμό» των δυναμικών του συστήματος [9], [10]. Το ίδιο ισχύει και για τον ελεγκτή ταχύτητας. Σε αυτή την εργασία, ο συνδυασμός συστήματος κατεύθυνσης και ελεγκτή μοντελοποιείται ως σύστημα πρώτου βαθμού με χρονική επιβράδυνση τ_φ. Γα τον έλεγχο της ταχύτητας χρησιμοποιείται ένα ανάλογο μοντέλο.

$$\dot{\phi} = -\frac{1}{\tau_\phi}\phi + \frac{1}{\tau_\phi}u_\phi,\quad \dot{v} = -\frac{1}{\tau_v}v + \frac{1}{\tau_v}u_v \tag{19}$$

Ο ελεγκτής NMPC παρέχει μία επιθυμητή γωνία κατεύθυνσης u_φ στον ελεγκτή κατεύθυνσης και η πραγματική γωνία κατεύθυνσης των τροχών ακολουθεί με δυναμική πρώτου βαθμού. Ομοίως, παρέχεται από το NMPC η επιθυμητή ταχύτητα u_v στον ελεγκτή ταχύτητας. Συνεπώς, ο NMPC χρησιμοποιεί σαν μοντέλο του οχήματος τις εξισώσεις (18),(19). Η κατάσταση συστήματος είναι $\mathbf{x} = [x\ y\ \theta\ \phi\ v]^{\mathrm{T}}$ και το διάνυσμα ελέγχου $\mathbf{u} = [u_v\ u_f\ ]^{\mathrm{T}}$. Οι εξισώσεις του συστήματος πρέπει να διακριτοποιηθούν έτσι ώστε να είναι εφικτό να εκφραστούν με τη μορφή εξίσωσης (12) και να επιλυθούν.

4. ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΕΠΙΛΥΣΗ

Γενικά, η βελτιστοποίηση του NMPC μπορεί να επιλυθεί μόνο αριθμητικά. Σε αυτή την εργασία χρησιμοποιήθηκε η έμμεση προσέγγιση, η οποία εφαρμόζει την μέθοδο μέγιστης κλίσης η οποία ελαχιστοποιεί τη χαμιλτονιανή συνάρτηση του προβλήματος [11]. Η χαμιλτονιανή συνάρτηση για τη βελτιστοποίηση του NMPC ορίζεται ως:

$$H = \phi(\mathbf{x}_k, \mathbf{u}_k) + \boldsymbol{\lambda}_{k+1}^T \mathbf{f}(\mathbf{x}_k, \mathbf{u}_k) \tag{20}$$

όπου η βοηθητική ακολουθία λ_k προκύπτει από τις ακόλουθες εξισώσεις

$$\boldsymbol{\lambda}_{k+M} = \frac{\partial\theta}{\partial\mathbf{x}_{k+M}},\quad \boldsymbol{\lambda}_j = \frac{\partial H}{\partial\mathbf{x}_j} = \frac{\partial\phi}{\partial\mathbf{x}_j} + \frac{\partial\mathbf{f}^T}{\partial\mathbf{x}_j}\boldsymbol{\lambda}_{j+1},\ j = k,...,k+M-1 \tag{21}$$

Η κύρια ιδέα στον αλγόριθμο μέγιστης κλίσης είναι η ακόλουθη: Αν έχουμε ως αφετηρία την πλασματική επίλυση $\underline{\mathbf{u}}_{k,M}^*$ η οποία είναι πλησιέστερη στο βέλτιστο, για να καταφέρουμε να ελαχιστοποιήσουμε το J, πρέπει να υπολογιστεί μία μεταβολή $\delta\underline{\mathbf{u}}_{k,M}^*$ αυτού του ελέγχου, τέτοια ώστε να είναι πάντα αρνητική η διακύμανση δJ. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί μετακινώντας τον έλεγχο σε κατεύθυνση αντίθετη της κλίσης (gradient) της χαμιλτονιανής συνάρτησης, δηλαδή:

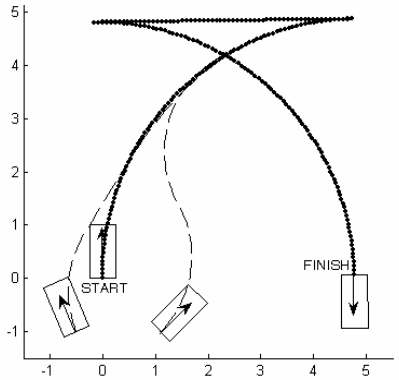
$$\mathbf{u}_j^{i+1} = \mathbf{u}_j^i - K\frac{\partial H}{\partial\mathbf{u}_j^i},\ j = k,...k+M \tag{22}$$

Η σταθερά K είναι ένας επαρκώς μικρός θετικός αριθμός. Ο αλγόριθμος συνεχίζει ως εξής: σε κάθε βήμα k, δεδομένου ενός αρχικού $\underline{\mathbf{u}}_{k,M}^*$ ο δείκτης i ξεκινά από το μηδέν και η εξίσωση (12) χρησιμοποιείται για να υπολογιστεί η τροχιά $\underline{\mathbf{x}}_{k,M}^* = [\mathbf{x}_k^*\ \mathbf{x}_{k+1}^*\ ...\ \mathbf{x}_{k+M+1}^*]$.

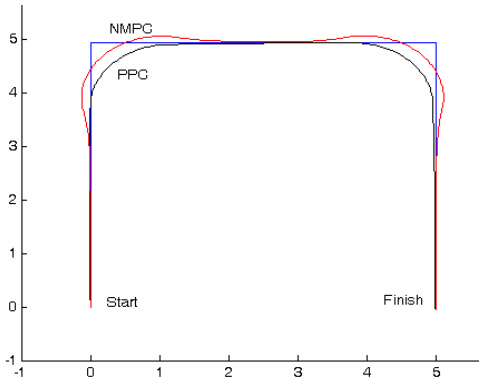
Έπειτα, υπολογίζονται τα $\boldsymbol{\lambda}_j^i$ και $\partial \mathrm{H} / \partial \mathbf{u}_j$ και η βελτιωμένη ακολουθία ελέγχου $\mathbf{u}_j^{i+1}$ υπολογίζεται από την εξίσωση (22). Τέλος, το i αυξάνεται και συνεχίζονται οι επαναλήψεις, μέχρις ότου φτάσουμε στο επιθυμητό κριτήριο τερματισμού της σύγκλισης ($i > \mathrm{I}_{\max}$ ή $\delta J \geq 0$). Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης σύμφωνα με τον αλγόριθμο που περιγράψαμε.

5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ

Ο ελεγκτής υλοποιήθηκε σε C++ και εκτελέσθηκαν προσομοιώσεις σε ελκυστήρα με μεταξόνιο 2 m, $\varphi_{max}=60^o$ και $v_{max}= 1$ m/s. Ο ελεγκτής είχε περίοδο δειγματοληψίας dt=100 ms και όλα τα στοιχεία των πινάκων κόστους ήταν μηδενικά εκτός από τα $q_e(1,1)= q_e(2,2)=500$ (κόστος σφάλματος απόστασης), $q_e(3,3)=100$ (κόστος σφάλματος προσανατολισμού) και $q_e(5,5)=50$ (σφάλμα ταχύτητας). Ο NMPT εκτελούσε 1000 επαναλήψεις. Στο 1ο πείραμα ο ελεγκτής δοκιμάστηκε σε μία τυπική διαδρομή στροφής σε κεφαλάρι (fish-tail) με επιθυμητή ταχύτητα ±0.5 m/s και ορίζοντα βελτιστοποίησης M=25. Στο Σχήμα 21 φαίνεται η επιτυχής σύγκλιση για διαφορετικές αρχικές θέσεις.



Σχήμα 21. Στροφή σε κεφαλάρι (M=25)



Σχήμα 22. Σύγκριση με ελεγκτή παρακολούθησης

Σε ένα 2ο πείραμα συγκρίθηκε η απόδοση του ελεγκτή με έλεγχο NMPC με αυτή του ελεγκτή παρακολούθησης (Pure-Pursuit Controller – PPC) σε μία τετραγωνική διαδρομή. Η εξίσωση του ελεγκτή PPC είναι:

$$u_v = K_v e_v + K_x e_x$$
$$u_\phi = \mathrm{sgn}(u_v) \tan^{-1}\left(\frac{(K_\theta e_\theta + K_y e_y)L}{v}\right) \qquad (23)$$

όπου τα e_x and e_y είναι σφάλματα θέσης και το e_θ το σφάλμα γωνίας στο σύστημα αναφοράς του οχήματος, e_v είναι το σφάλμα ταχύτητας και οι όροι K_v, K_x, K_θ, K_y είναι τα κέρδη του ελεγκτή τα οποία επιλέγηκαν μετά από δοκιμές ώστε ο PPC να έχει μηδενική υπερανύψωση. Το σημείο της τροχιάς που παρακολουθούσε ο PPC ήταν M=25 σημεία μπροστά. Οι διαδρομές φαίνονται στο Σχήμα 21. Το μέσο και μέγιστο σφάλμα διαδρομής ήταν 4.62cm και 34,94cm αντίστοιχα. Ο NMPC έλεγχος αρχικά εκτελέσθηκε και αυτός με ορίζοντα M=25. Η απόδοσή του ήταν χειρότερη από του PPC διότι τα 25 σημεία ήταν πολύ λίγα και δεν επέτρεπαν στον NMPT να στρίψει έγκαιρα πριν την πρώτη στροφή. Στη συνέχεια ο ορίζοντας αυξήθηκε σε M=60 (5 meters), και η απόδοση βελτιώθηκε αισθητά με μέσο και μέγιστο σφάλμα 4.2cm κα 9.78cm. Είναι

αξιοσημείωτο ότι η στροφή που εκτελεί ο ελεγκτής με NMPC δεν είναι δυνατόν να εκτελεσθεί από κλασσικούς γραμμικούς ελεγκτές όπως ο PPC, διότι αυξάνει το στιγμιαίο σφάλμα, προκειμένου όμως να μειώσει το συνολικό σφάλμα.

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ο ελεγκτής δοκιμάστηκε σε πολυάριθμες προσομοιώσεις και ακολούθησε με ακρίβεια τις επιθυμητές τροχιές παρά τα σφάλματα που εισήχθησαν στην αρχική του θέση και τις ασυνέχειες ταχύτητας και προσανατολισμού της επιθυμητής τροχιάς. Η απόδοση του ελεγκτή είναι ανώτερη από αυτή του κλασσικού ελεγκτή «καταδίωξης» για αρκετά μεγάλο ορίζοντα βελτιστοποίησης *M*. Όμως αν το Μ είναι πολύ μεγάλο, η ταχύτητα υπολογισμών είναι μικρή και η λειτουργία σε πραγματικό χρόνο μπορεί να απαιτήσει εξειδικευμένο υλικό (hardware). Η απόδοση του ελεγκτή και το ακριβές σχήμα της διαδρομής στην οποία οδηγεί το όχημα εξαρτάται και από τα κόστη σφαλμάτων θέσης, προσανατολισμού και ταχύτητας κατά μήκος της τροχιάς. Τα κόστη αυτά μπορεί να ποικίλουν ανάλογα με την εφαρμογή. Σε γενικές γραμμές ο ελεγκτής NMPT φαίνεται να προσφέρει σε οχήματα δυνατότητες παρακολούθησης διαδρομής οι οποίες είναι ανώτερες των κλασσικών ελεγκτών καταδίωξης PPC οι οποίοι χρησιμοποιούνται σήμερα και συνεπώς χρήζει περαιτέρω μελέτης.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Amidi, O. (1990). Integrated Mobile Robot Control. Masters Thesis, Dept. Of Electrical and Computer Engineering, CMU, Pittsburgh, PA
2. Zhang, Q., and Qiu, H. (2004) A Dynamic Path Search Algorithm for Tractor Automatic Navigation. Transactions of the ASAE, v. 47(2): 639−646.
3. Witt, J., Crane C.D.III, and Armstrong,D. (2004). Autonomous Ground Vehicle Path Tracking. Journal of Robotic Systems v.21(8), 439–449.
4. Brockett, R. 1983. Asymptotic stability and feedback stabilization. In Differential Geometric Control Theory (R. Brockett, R. Millman and J. Sussmann. (Ed.)). Birkhauser. 27,181-208
5. Divelbiss, A., and Wen, J. (1997). Trajectory Tracking Control of a Car-Trailer System. IEEE Transactions on Control Systems Technology, v.5(3), 269-278.
6. Balluchi, A., Bicchi, A., Balestrino, A. and Casalino, G. (1996). Path Tracking Control for Dubin's Car. Proceedings of the 1996 IEEE Intl Conference on Robotics and Automation, Minneapolis, MN, 3123-3128.
7. Wen, J., and Jung, Sooyong. (2004). Nonlinear Model Predictive Control based on Predicted State Error Convergence. Proceeding of the 2004 American Control Conference. Boston, Massachusetts, 2227-2232.
8. Chen H., and Allgoewer, F. (1998). Nonlinear model predictive control schemes with guaranteed stability. In R. Berber and C. Kravaris, (Eds), Nonlinear Model Based Process Control, pp. 465–494. Kluwer Academic Publishers, Dodrecht.
9. Stombaugh, T., Benson, E., Hummel, J., (1998). Automatic guidance of agricultural vehicles at high field speeds. ASAE Paper 983110. St. Joseph, MI.
10. Wu, D., Zhang, Q., Reid. J., Qiu, H., Benson, E., (1998). Model Recognition and Simulation of an E:H Steering Controller on Off-Road Equipment. In: Nair, S., Mistry, S. (Eds). Fluid Power Systems and Technology 1998, ASME, New York, pp. 55–60.
11. Kirk, D.E. (1970). Optimal Control Theory: An Introduction, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, U.S.A.

(168)

ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΤΟΠΟΛΟΓΙΑΣ ΤΟΥ ΑΣΥΡΜΑΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ ΣΕ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΓΕΩΡΓΙΑ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ

Κατσαλής Κ., Ξενάκης Α., Σακαλλερίου Α., Κίκιρας Π.
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Μηχανικών Η/Υ, Τηλεπικοινωνιών και Δικτύων,
Γκλαβάνη 37 -28 Οκτωβρίου, 38331, Βόλος Μαγνησία
{axenakis, kkatsalis, ansakell, kikirasp}@inf.uth.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο στόχος αυτού του εγγράφου είναι να εξηγηθεί πώς ένα τυπικό WSN λειτουργεί, ποιά είναι τα πλεονεκτήματα, τα μειονεκτήματα και τα τεχνικά χαρακτηριστικά του, καθώς επίσης και τα οικονομικά οφέλη από την εφαρμογή της τεχνολογίας αισθητήρων στον τομέα της Γεωργίας Ακριβείας. Επιπλέον προτείνεται μια νέα μέθοδος κατασκευής τοπολογίας δικτύων βασισμένη στις ζώνες ηλεκτρικής αγωγιμότητας και διαχείρισης του εδάφους.

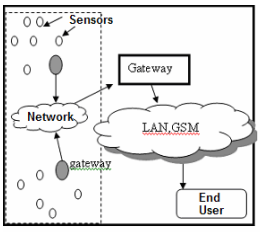
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η γεωργία ακρίβειας αναφέρεται στη χρήση ενός συστήματος πληροφοριών για την ενδο-εδαφική διαχείριση της συγκομιδής . Αυτό σημαίνει βασικά το να προσθέτει κανείς τη σωστή ποσότητα λιπάσματος στο σωστό χρόνο και στην ακριβή θέση [7]. Στην πραγματικότητα σημαίνει ότι το κάθε μέρος της συγκομιδής αντιμετωπίζεται με το διαφορετικό τρόπο και όχι συνολικά το ίδιο. Η χρήση των τεχνικών γεωργίας ακρίβειας δίνει στους γεωπόνους τη δυνατότητα να εφαρμόσουν νέες και συνεχώς αναπτυσσόμενες τεχνολογίες καλλιέργειας που βοηθούν να διαχειριστούν καλύτερα την παραγωγή. Μερικές από αυτές τις τεχνολογίες είναι το GPS, το GIS, η τηλεπισκόπηση [5], η variable rate technology, οι έλεγχοι μηχανών, οι έξυπνοι αισθητήρες και η τεχνολογία WSN (Wireless Sensor Networks)[6].

2.ΑΣΥΡΜΑΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ

2.1 Τεχνολογία Ασύρματων Δικτύων Αισθητήρων

Διάφοροι αισθητήρες που θα τοποθετηθούν κατάλληλα για ν καλύψουν το σύνολο του χωραφιού απαιτούνται έτσι ώστε ένα WSN να λειτουργήσει [8]. Αυτοί οι αισθητήρες μπορούν να προγραμματιστούν για να καταγράψουν μετρήσεις που αφορούν θερμοκρασία και υγρασία. Όλες οι μετρήσεις που συλλέγονται από τους αισθητήρες, με κατάλληλα πρωτόκολλα δρομολόγησης πολλών δρόμων (multi – hop), καταλήγουν σε μια πύλη (gateway), από την οποία μεταφέρονται στο τέλος στο χρήστη μέσω ενός ασύρματου δικτύου, του Διαδικτύου (Internet) ή ενός Τοπικό Δικτύου (LAN) [4].



Εικόνα 1 : Τυπικό Ασύρματο Δίκτυο Αισθητήρων

2.2 Πλεονεκτήματα από την εφαρμογή ενός Ασύρματου Δικτύου Αισθητήρων

Τα οφέλη που προκύπτουν από την εφαρμογή της τεχνικής γεωργίας ακρίβειας εμφανίζονται στην ακρίβεια στην ποσότητα άρδευσης, στη χρήση φυτοφαρμάκων μόνο σε κατάλληλες περιοχές εντός χωραφιού, στον έλεγχο των ποσοτήτων του λιπάσματος, και στον ακριβή καθορισμό της σποράς και της συγκομιδής. Επιπρόσθετα, σε παράγοντες όπως η χρήση της κατάλληλης ποιότητας του σπόρου σε ορισμένα σημεία στο χωράφι, ο έλεγχος ύδατος, η βέλτιστη ποσότητα σπόρου και τα λιγότερα έξοδα για επιστήμονες γεωργίας και εταιρείες η εφαρμογή ενός Ασύρματου Δικτύου Αισθητήρων ασκεί άμεση επίδραση. Επιπλέον τα πλεονεκτήματα από τη χρήση ενός WSN είναι: [1], [2]

- Δυνατότητα παρατήρησης της κατάστασης της σοδειάς για μεγάλο χρονικό διάστημα.
- Άμεση και ακριβής ενημέρωση για την κατάσταση που επικρατεί στο χωράφι και δυνατότητα επέμβασης σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης.
- Λήψη αποφάσεων από απόσταση.
- Αναλυτική αποθήκευση πληροφοριών και δημιουργία αρχείου που αφορά τη σοδειά ανά τμήματα στο χωράφι.

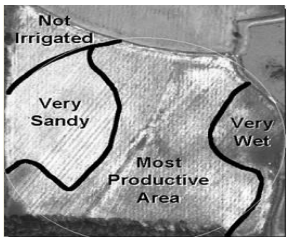
- Φιλικό και γραφικό για τον χρήστη σύστημα ελέγχου και παρατήρησης.
- Δυνατότητα να γίνει η ακριβής αξιολόγηση των νέων μεθόδων και των τεχνικών συγκομιδής.

3. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Η γεωργία ακρίβειας είναι κυρίως βασισμένη στη διαχείριση του παραλλακτικότητας του εδάφους. Η παραλλακτικότητα στην παραγωγή καθορίζεται από τη μεταβλητότητα στη δομή του εδάφους, την οργανική ουσία, το επίπεδο αλάτων και το επίπεδο ύδατος. Προκειμένου να αντιμετωπιστεί το έδαφος με διαφορετικούς τρόπους, λεπτομερείς χάρτες διαχείρισης (management zones) πρέπει να παραχθούν, στους οποίους απεικονίζεται η παραλλακτικότητα. Οι πληροφορίες από αυτούς τους χάρτες μπορούν να βοηθήσουν έμμεσα στον καθορισμό της τοπολογίας των αισθητήρων στο χωράφι ανά ζώνες.

3.1 Ζώνες Διαχείρισης

Οι ζώνες διαχείρισης είναι μικρότερα μέρη του χωραφιού που παρουσιάζουν ορισμένη μεταβλητότητα μεταξύ τους και για κάθε μια από αυτές χρειάζεται οι γεωπόνοι να εφαρμόζουν διαφορετική μεταχείριση και καλλιεργητική τακτική. Το κριτήριο δημιουργίας των ζωνών διαχείρισης είναι όχι μόνο ένα και δεν καθορίζονται πάντα. Η κατηγοριοποίηση του εδάφους εξαρτάται από διάφορους παράγοντες που οι γεωπόνοι αποφασίζουν, παραδείγματος χάριν η υγρασία, η οργανική ουσία, ο άργιλος. Στην εικόνα 2 απεικονίζονται 4 ζώνες διαχείρισης, κάθε μια από τις οποίες έχει μεμονωμένα χαρακτηριστικά.



Εικόνα 2: Ζώνες Διαχείρισης

3.2 Ηλεκτρική Αγωγιμότητα και Σύστημα Veris

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα, είναι μια μέτρηση της ευκολίας με την οποία το ηλεκτρικό ρεύμα περνά από το χώμα. Εξαρτάται κυρίως από την παρουσία αλάτων και τη σύσταση του εδάφους στην άμμο, τον άργιλο, την οργανικά ουσία και το νερό. Οι περιοχές με ίδιες τιμές αγωγιμότητας ανήκουν, με μεγάλη πιθανότητα, στον ίδιο εδαφικό τύπο και έτσι η κατασκευή των χαρτών διαχείρισης μπορεί να βασιστεί στις μετρήσεις της αγωγιμότητας. Σύμφωνα με τις μέχρι τώρα έρευνες, οι μετρήσεις της ηλεκτρικής αγωγιμότητας επηρεάζονται κυρίως από την υγρασία. Αυτό σημαίνει ότι κάθε φορά που τα επίπεδα υγρασίας μέσα στο ίδιο τμήμα του χωραφιού αλλάζουν, το δίκτυο δεν χρειάζεται να ξανασχεδιαστεί επειδή ακριβώς αυτά τα επίπεδα αλλάζουν αντίστοιχα για όλους τους τομείς και οι ζώνες διαχείρισης παραμένουν οι ίδιες όπως πριν. Αφού λοιπόν η κατηγοριοποίηση των περιοχών δεν μεταβάλλεται, το δίκτυο των αισθητήρων σχεδιάζεται μία και μόνο φορά.

Ένα από πιο γνωστά συστήματα μέτρησης της ηλεκτρικής αγωγιμότητας είναι το Veris 3100. Αυτή η συσκευή συνοδεύεται μαζί με ένα GPS έτσι ώστε κάθε μέτρηση να καταγράφεται ακριβώς και να συλλέγεται σε μια κεντρική μονάδα. Συνεπώς, ένα αρχείο μετρήσεων παράγεται για κάθε περιοχή που σαρώνεται με το Veris

συμπεριλαμβανομένης και των συντεταγμένων του σημείου στο οποίο η μέτρηση λήφθηκε. Τα στοιχεία μπορούν να αναπαρασταθούν με γραφικό τρόπο έτσι ώστε οι περιοχές με παρόμοια χαρακτηριστικά να μπορούν να ταξινομηθούν, να διακριθούν και να γίνουν ξεκάθαρες. Αυτό απαιτεί την επεξεργασία των στοιχείων από το εξειδικευμένο λογισμικό ενός γεωγραφικού συστήματος πληροφοριών (GIS).

3.3 Βέλτιστη Τοπολογία Δικτύου

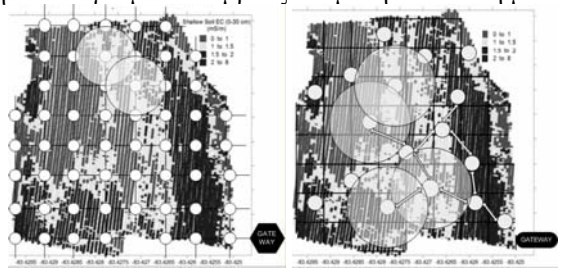
Η προαναφερθείσα προσέγγιση εφαρμόζεται για το διαχωρισμό του εδάφους σε περιοχές διαχείρισης, και βοηθά προκειμένου να αποφευχθεί η τοποθέτηση κόμβων με την κλασσική μορφή του πλέγματος (grid). Ένας κατάλληλος αριθμός αισθητήρων που θα καλύψει τελείως τις πληροφοριακές ανάγκες από την πτυχή των μετρήσεων τοποθετείται έτσι ώστε μια πλήρης εικόνα του συνολικού εδάφους ανά τμήμα να παραχθεί.

Η μεθοδολογία για τη βέλτιστη τοποθέτηση των αισθητήρων είναι η εξής:

1. Σάρωση του χωραφιού με το σύστημα Veris 3100.
2. Σαφής διαχωρισμός μεταξύ των ζωνών διαχείρισης.
3. Καταγραφή των σημείων στο χωράφι που μπορούν να προκαλέσουν πρόβλημματα στην επικοινωνία (φυσικά εμπόδια).
4. Τοποθέτηση των κόμβων στα κατάλληλα σημεία στα οποία η επικοινωνία επιτυγχάνεται χωρίς προβλήματα .

Σε ένα χωράφι με καλλιέργεια βαμβακιού, στην περιοχή της Καρδίτσας, με έκταση 50 στρεμμάτων, η προαναφερθείσα μεθοδολογία θα εφαρμοστεί στις ζώνες διαχείρισης, που έχουν προκύψει από Veris με βάση προσωπική μελέτης του κ. Μαρκινού, υποψηφίου διδάκτορα του τμήματος γεωπονίας παραγωγής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας. Εφαρμόζοντας το Veris σε βάθος 90cm, τα 50 στρέμματα κατηγοριοποιούνται σε πέντε διακριτές ζώνες. Οι προσομοιώσεις που έγιναν βασίζονται στις δύο ακόλουθες τοπολογίες δικτύων:

- Κλασσική τοπολογία πλέγματος με 56 κόμβους με 32 m απόσταση μεταξύ τους.
- Προτεινόμενη τοπολογία με 26 κόμβους και μέση απόσταση μεταξύ τους στα 35m.



Εικόνα 6: Τοπολογία Πλέγματος – Βέλτιστη τοποθέτηση κόμβων

Η απόσταση κάλυψης για κάθε κόμβο εξαρτάται από τον κόμβο και την τεχνολογία της κεραίας του (RF). Οι κόμβοι δεν τοποθετήθηκαν στη μέγιστη απόσταση κάλυψης για περισσότερη αποδοτικότητα ισχύς μετάδοσης και εξοικονόμηση ενέργειας. Η μέση απόσταση των 35m προκύπτει από αποστάσεις των κόμβων, στις οποίες υπάρχει υψηλή πιθανότητα επικοινωνίας μεταξύ τους χωρίς θόρυβο. (ο λόγος σήματος προς θόρυβο πρέπει να είναι επάνω από ένα ορισμένο κατώτατο όριο SNR > *threshold γ*). Σαφώς υπάρχει ένα trade – off μεταξύ του αριθμού κόμβων που χρησιμοποιούνται (χαμηλότερο κόστος σε ευρώ) και της ευρωστίας του δικτύου.

Η μείωση του αριθμού αισθητήρων που επιτυγχάνεται για τη συγκεκριμένη καλλιέργεια βαμβακιού, φθάνει στο 55% - 60%. Αυτό το ποσοστό επιτυγχάνεταιι όταν χρησιμοποιούνται μόνο οι απολύτως απαραίτητοι κόμβοι για να καλύψουν τις ζώνες

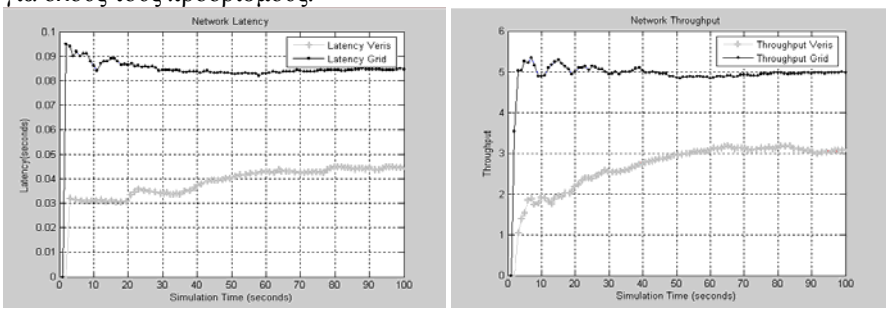
διαχείρισης. Σε πρακτικές εφαρμογές, ενδεχομένως μερικοί πρόσθετοι κόμβοι να χρειαστεί να τοποθετηθούν στα σύνορα επικοινωνίας ανά τμήμα του χωραφιού. Ένα βασικό σημείο στο σχεδιασμό του δικτύου είναι ότι πρέπει να ληφθούν υπόψη παράγοντες όπως η σκέδαση, η απορρόφηση και η αποδυνάμωση του σήματος που εξαρτώνται κάθε φορά από τον τύπο της καλλιέργειας, το ύψος των φύλλων, των λοφίσκων, καθώς επίσης και των καλλιεργητικών μηχανημάτων που κυκλοφορούν στο χωράφι, και τέλος από τον ηλεκτρικό θόρυβο, όπως τα καλώδια υψηλής τάσης [7]. Άλλοι παράγοντες είναι η τεχνολογία των αισθητήρων και οι κλιματολογικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή.

4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

Η προσομοίωση έγινε σε Prowler, το οποίο είναι ένα event – based εργαλείο προσομοίωση που βασίζεται στο TinyOS/NesC. Με βάση τον προσομοιωτή Prowler, η πλατφόρμα των προσομοιώσεων που χρησιμοποιήθηκε ονομάζεται Rmaze και παρέχει ένα σύνολο μετρήσεων με σκοπό τη σύγκριση των διαφορετικών αλγορίθμων δρομολόγησης. Ο χρόνος προσομοίωσης είναι βαθμονομημένος (calibrated) στα 100 δευτερόλεπτα. Μερικοί ορισμοί των μετρικών είναι:

Χρόνος Καθυστέρησης (Latency): Ο χρόνος για την αποστολή ενός πακέτου μηνύματος από την πηγή στον προορισμό. Για κάθε προορισμό, αν φτάνουν n πακέτα, ο χρόνος καθυστέρησης για τον προορισμό αυτό είναι $\sum_{i=1}^{n} \frac{di}{n}$, όπου di είναι η καθυστέρηση του i-οστού πακέτου. Η ολική καθυστέρηση του δικτύου προκύπτει από τον μέσο όρο των καθυστερήσεων όλων των προορισμών.

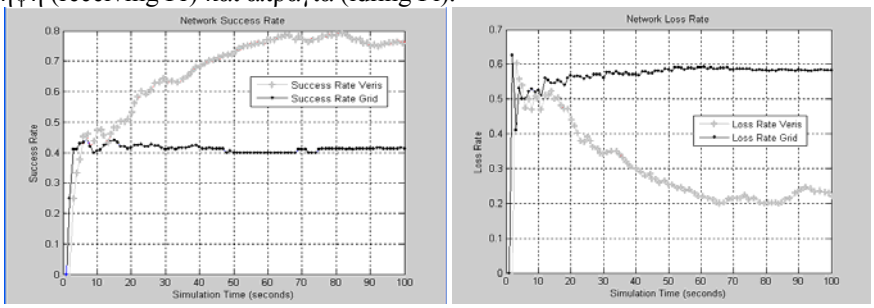
Ρυθμαπόδοση (Throughput): Αριθμός πακέτων το δευτερόλεπτο ανά προορισμό. Η συνολική ρυθμαπόδοση του δικτύου είναι το άθροισμα των μετρήσεων ρυθμαπόδοσης για όλους τους προορισμούς.



Εικόνα 7: Καθυστέρηση δικτύου – Ρυθμαπόδοση δικτύου

Ο χρόνος καθυστέρησης σε περίπτωση της προτεινόμενης τοπολογίας (veris topology) είναι πολύ λιγότερος από αυτόν στην τοπολογία πλέγματος. Έχουμε υπολογίσει τον μέσο χρόνο καθυστέρηση όλου του δικτύου καθ' όλη τη διάρκεια της προσομοίωσης και για τις δύο περιπτώσεις είναι 0.0842 για το πλέγμα και 0.038 για το veris. Στην τοπολογία veris η καθυστέρηση μειώνεται κατά μέσο όρο περίπου 55%. Παρατηρούμε επίσης ότι στη veris τοπολογία η ρυθμοαπόδοση είναι χαμηλότερη από αυτή στο πλέγμα, επειδή στην τοπολογία πλέγματος τα συνολικά πακέτα που στέλνονται στον προορισμό είναι πολύ περισσότερο που τα πακέτα που στέλνονται από τις πηγές στην τοπολογία veris λόγω και τον αυξημένου αριθμού κόμβων.

Επιτυχία στην παράδοση (Success Rate): Ο συνολοκός αριθμός πακέτων που παραδόθηκαν προς όλους τους προορισμούς προς τον συνολικό αριθμό των πακέτων που στάλθηκαν στο δίκτυο.
Αποτυχία στην παράδοση (Loss Rate): Συνολικός αριθμός χαμένων πακέτων προς συνολικό αριθμό αναμενόμενων παραδόσεων στους προορισμούς.
Κατανάλωση Ενέργειας (Energy consumption): Σύλονο της ενέργειας που δαπανήθηκε σε όλους τους κόμβους, όπου η ενέργεια για έναν κόμβο είναι το άθροισμα της ενέργειας για επικοινωνία, συμπεριλαμβανομένης και αυτής για μετάδοση (transmitting Pt), λήψη (receiving Pr) και απραγία (idling Pi).



Εικόνα 8: Επιτυχές μεταδόσεις – Αποτυχείς μεταδόσεις

Στην τοπολογία veris το ποσοστό επιτυχίας για μεγάλο μέρος του χρόνου προσομοίωσης αυξάνεται. Αυτό σημαίνει ότι περισσότερα πακέτα είναι πιθανό να παραδοθούν στον προορισμό με επιτυχία. Περίπου μετά από 60 δευτερόλεπτα στην τοπολογία veris το ποσοστό επιτυχίας πληριάζει το 80%. Αντίθετα, στην τοπολογία πλέγματος, παρατηρούμε ότι όχι μόνο το ποσοστό επιτυχίας είναι κατά μέσον όρο σταθερό, αλλά έχει συγκλίνει περίπου σε 40%. Η μέγιστη διαφορά στις μετρήσεις ποσοστού επιτυχίας και στις δύο τοπολογίες φθάνει σε περίπου 50%. Στη βελτιστοποιημένη veris τοπολογία το ποσοστό απώλειας πακέτων είναι πολύ λιγότερο από αυτό της τοπολογία πλέγματος. Επίσης στην τοπολογία veris η γραφική παράσταση που απεικονίζει το ποσοστό απώλειας μειώνεται σε όλο το χρόνο προσομοίωσης.

5. ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΟΦΕΛΗ

5.1 Πώς οι τεχνικές της Γεωργίας Ακριβείας επηρρεάζει τη καλλιέργεια

Ο ακόλουθος πίνακας συνοψίζει όλες τις μετρήσεις που λαμβάνονται με βάση τις μεθόδους της Γεωργίας Ακρίβειας και απεικονίζει ποιοί παράγοντες καλλιέργειας επηρεάζουν κάθε μέτρηση:

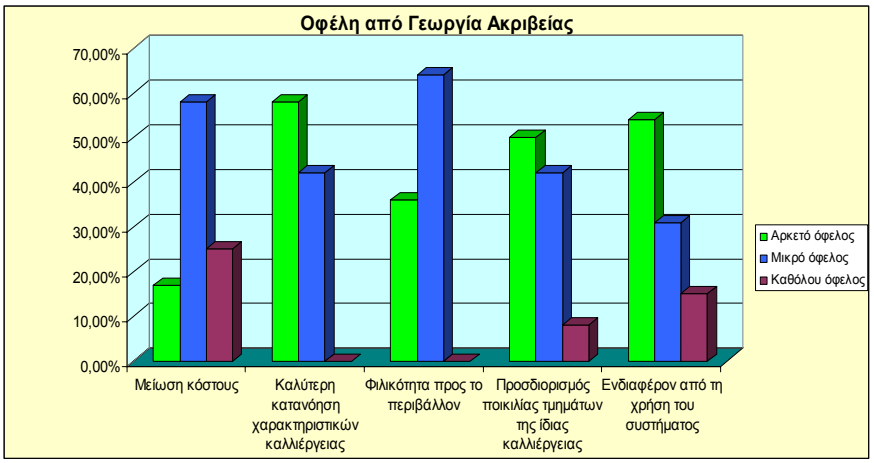
Πίνακας 1. Μετρήσεις που λαμβάνονται από τεχνικές της Γεωργίας Ακριβείας

Είδος Μέτρησης	Τομέας που επηρεάζει η μέτρηση
Υγρασία	Ποσότητα άρδευσης
	Ασθένειες φυτών
Θερμοκρασία	Εποχή σποράς
	Λίπανση
	Είδος καλλιέργειας
	Σύστημα καλλιέργειας
Συστατικά εδάφους	Λίπανση
Χλωροφύλλη	Άρδευση
Ένταση ανέμου	Είδος καλλιέργειας
Ένταση ηλιακής ακτινοβολίας	Σύστημα καλλιέργειας

5.2 Οφέλη Γεωργίας Ακριβείας

Η Γεωργία Ακριβείας για να επιτύχει τα επιθυμητά αποτελέσματα βασίζεται σε *μετρήσεις σε μεμονωμένα τμήματα + ακρίβεια στις μετρήσεις* με στόχο την απαραίτητη γνώση

- Μελέτη της καλλιέργειας, όχι ως ενιαίο κομμάτι αλλά ως ξεχωριστά σημεία, το καθένα με τις ιδιαιτερότητές του.
- Ακρίβεια στην ποσότητα νερού για την άρδευση της καλλιέργειας.
- Προσδιορισμός του επιπέδου υγρασίας σε κάθε σημείο της καλλιέργειας ξεχωριστά.
- Μείωση χρήσης φυτοφαρμάκων από επιπλέον ποτισμούς σε σημεία όπου δεν ήταν απαραίτητος ο ποτισμός
- Χρήση φυτοφαρμάκων μόνο στις περιοχές που κρίνεται απαραίτητο την δεδομένη στιγμή.
- Σημαντική μείωση του κόστους παραγωγής από τον έλεγχο στις ποσότητες λιπάσματος που θα χρησιμοποιηθούν.
- Κέρδος στην παραγωγή από τον ακριβή προσδιορισμό της εποχής σποράς.
- Σωστή επιλογή της περιόδου συγκομιδής.
- Χρήση κατάλληλης ποικιλίας σπόρου ανάλογα με τις συνθήκες που επικρατούν στον τόπο της καλλιέργειας.
- Σπορά κατάλληλης ποσότητας ανάλογα με τις εδαφικές ιδιότητες.



Πίνακας 2. Τομείς που οφελούνται περισσότερο από τη Γεωργία Ακριβείας

5.3 Οικονομική Ανάλυση

Προκειμένου να έχουμε οικονομικό όφελος από τη χρήση μίας νέας τεχνολογίας, θα αναλύσουμε τα κόστη παραγωγής με βάση τον παραδοσιακό τρόπο και θα δείξουμε πώς αυτά θα μειωθούν σε κάθε φάση της παραγωγής. Η διαφορά μεταξύ της παραδοσιακής και νέας μεθόδου καλλιέργειας απεικονίζεται επίσης στον παρακάτω πίνακα, στον οποίο παρατηρούμε τα επίπεδα οφέλους σε κάθε τομέα που οι μετρήσεις από τους αισθητήρες επηρέασαν.

Επίσης, πρέπει να λάβουμε υπόψη μας την αύξηση του αριθμού των παραγόμενων προϊόντων που οδηγεί σε άμεσο κέρδος.

Η οικονομική ανάλυση που ακολουθεί βασίζεται στην τοπολογία πλέγματος. Το ενδεικτικό **κόστος του δικτύου αισθητήρων** περιλαμβάνει τα εξής:

Για 200 Στρέμματα θα χρησιμοποιήσουμε:

- 128 κόμβους με κόστος 100€ ο καθένας.

- 2 gateways με 1500€ η καθεμία.

Συνολικό κόστος του Δικτύου Αισθητήρων = 16,000€

Στη βελτιστοποιημένης τοπολογίας δικτύου στην οποία χρησιμοποιούμε μικρότερο αριθμό κόμβων έχουμε και την ανάλογη μείωση στο κόστος υλοποίησης.

Πίνακας 3. Κόστη σύμφωνα με τον παραδοσιακό και τον νέο τρόπο καλλιέργειας

Πίνακας με κόστη ανά Στρέμμα		
Τύπος Κόστους	Παραδοσιακός Τόπος	Γεωργία Ακριβείας
Φάρμακα	13€	9€
Λίπασμα	14€	10€
Θερινά Ραντίσματα	20€	17€
Ηλεκτρικό Ρεύμα	44€	41€
Δίκτυο Αισθητήρων	0€	8€
Σύνολο:	**91,00 €**	**85,00 €**

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η Γεωργία Ακρίβειας και οι εφαρμογές WSN συνδυάζουν έναν συναρπαστικό νέο τομέα έρευνας που θα βελτιώσει πολύ την ποιότητα στη γεωργική παραγωγή, τη διαχείριση ύδατος και θα οδηγήσει σε δραματική μείωση του κόστους που απαιτείται. Επιπλέον, η ευκολία επέκτασης και συντήρησης ανοίγει το δρόμο για υιοθέτηση των συστημάτων WSN στις καλλιέργειες ακρίβειας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Baggio, A., 2005. *Wireless sensor networks in precision agriculture*, Delft University of Technology – The Netherlands, available at: http://www.sics.se/realwsn05/papers/baggio05wireless.pdf
2. Burrell J., Brooke T., Beckwith R., 2004. Vineyard Computing: Sensor Networks in Agricultural Production,Published by the IEEE CS and IEEE ComSoc 1536-1268/04
3. Ferentinos K., Tsiligridis T., Arvanitis K., 2005. Energy Optimization of Wireless Sensor Networks for Environmental Measurements, Computational Intelligence for Measurement and Applications, 2005, CIMSA. 2005 IEEE International Conderence, p.250-255
4. Kahn, K. et al. 2002. Ad Hoc Sensor Networks A New Frontier for Computing Applications, Intel Corporate Technology Group
5. Kikiras, P.C., Drakoulis D., 2003. The European Approach to Augmented Satellite Based Positioning Systems and their Application in Precision Farming, Proceedings of the International Sumposium held at Volos, Greece, 7-9 November 2003
6. Vellidis G., 2005. A Real-Time Smart Sensor Array for Scheduling Irrigation in Cotton, NESPAL – National Environmentally Sound Production Agriculture Lab.
7. Virginia Tech. 2002. Precision Farming: A Comprehensive Approach, Publication Number: 442-500
8. Zhang, W. et al. 2003. Integrated Wireless Sensor/Actuator Networks in an Agricultural Application, Carnegie Mellon University

(183)

ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΚΑΙ ΤΑΥΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΕΠΙΤΡΑΠΕΖΙΩΝ ΣΤΑΦΥΛΙΩΝ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΠΑΡΑΔΟΣΙΑΚΗ ΣΥΓΚΟΜΙΔΗ

Ι.Γ. Αμπατζίδης[1], Γ.Σ. Τζελέπης και Σ.Γ. Βουγιούκας
[1]Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Γεωπονική Σχολή, Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας, 54124 Θεσσαλονίκη, Email: iampatzi@agro.auth.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στόχος της εργασίας αυτής είναι η παρουσίαση της κατασκευής και της δοκιμής ενός αυτοματοποιημένου συστήματος για τη μέτρηση και την ταυτοποίηση της παραγωγής των επιτραπέζιων σταφυλιών, με χρήση γραμμωτών κωδικών (barcodes), GPS και ψηφιακού ζυγού. Φθηνές ετικέτες barcodes επικολλώνται στα κιβώτια συλλογής των καρπών. Ένας αναγνώστης barcode και ένας ψηφιακός ζυγός τοποθετούνται σε ειδική κατασκευή στην καρότσα του φορτηγού, μαζί με ένα GPS. Με το σύστημα αυτό επιτυγχάνεται η συσχέτιση μεταξύ των γεμάτων καρπών κιβωτίων και του κάθε αγροτεμαχίου χωρίς σημαντική τροποποίηση της διαδικασίας συγκομιδής.

YIELD MEASUREMENT AND IDENTIFICATION SYSTEM DURING THE TRADITIONAL FRESH VINE HARVESTING

Y.G. Ampatzidis[1], G.S. Tzelepis and S.G. Vougiokas
[1]Aristotle University of Thessaloniki, Department of Agricultural Engineering, 54124 Thessaloniki, Greece. E-mail: iampatzi@agro.auth.gr

ABSTRACT

In this paper an automated yield measurement and identification system is proposed to establish the association between a field and all the bins containing the fruits from it during traditional fresh vine harvesting. Low cost barcode tags, which contain unique ID numbers, were attached to individual bins. A barcode reader, a digital weighing scale and a GPS were mounted in a construction in order to identify the bin's ID, record the weight of each bin load and measure the position. This system does not interfere significantly with the current harvesting procedures, although some changes to the harvesting practice may be required eventually.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι ευρωπαίοι καταναλωτές επιθυμούν ασφαλή και υγιεινά τρόφιμα. Στόχος της Ευρωπαϊκής Ένωσης είναι να εξασφαλίσει υψηλή ποιότητα στα προϊόντα είτε εγχώριας παραγωγής είτε σε αυτά που εισάγονται από άλλη χώρα εντός ή εκτός ΕΕ. Για το σκοπό αυτό ο κανονισμός 178/2002 της Eurepgap εισάγει την έννοια της ιχνηλασιμότητας (Traceability) στα γεωργικά προϊόντα (η οποία τέθηκε σε εφαρμογή από 1η Ιανουαρίου 2005). Με άλλα λόγια, οι επιχειρήσεις τροφίμων και ζωοτροφών (καθώς και οι παραγωγοί), ανεξάρτητα από το εάν παράγουν, μεταποιούν ή εισάγουν τρόφιμα ή ζωοτροφές, πρέπει να εξασφαλίζουν την ιχνηλασιμότητα όλων των τροφίμων σε όλη την τροφική και παραγωγική αλυσίδα. Κάθε επιχείρηση πρέπει να μπορεί να προσδιορίσει τους προμηθευτές της και τις επιχειρήσεις που προμήθευσε η ίδια. Έτσι και ο αγρότης-παραγωγός πρέπει να καταγράφει όλα τα κρίσιμα στάδια παραγωγής καθώς και όλες τις επεμβάσεις σε φυτικά ή ζωικά προϊόντα [1]. Ακόμα, κάθε επιχείρηση οφείλει να έχει την ικανότητα να ταυτοποιήσει και ανακαλέσει τα προϊόντα της, αν αποδειχτεί ότι υπάρχει σοβαρό πρόβλημα ώστε οι καταναλωτές να ενημερωθούν και να προστατευτούν ([2], [3], [4]). Πρόσφατες μελέτες για την ασφάλεια των τροφίμων δείχνουν ότι περίπου επτά εκατομμύριο άνθρωποι ετησίως υποφέρουν από τροφικές ασθένειες [5] γεγονός που καθιστά απαραίτητη την ιχνηλασιμότητα των προϊόντων.

Η απαίτηση για εφαρμογή του HACCP έχει επίσης άμεσο συσχετισμό με την εφαρμογή της ιχνηλασιμότητας (852/2004 και η παλιότερη 93/43). Γενικότερες νομοθεσίες που αφορούν στην ασφάλεια των τροφίμων, όπως η 95/2001 και ο κώδικας τροφίμων και ποτών, δίνουν τη βάση για ασφαλή τρόφιμα στην Ευρώπη. Τα συστήματα ISO9001, HACCP, ISO 22000, BRC, IFS, Agro 2.1,2.2 και Eurepgap έχουν σαφή απαίτηση για τήρηση της ιχνηλασιμότητας.

Διάφορα συστήματα χαρτογράφησης και ταυτοποίησης της παραγωγής, κυρίως για εφαρμογές στη γεωργία ακριβείας, έχουν σχεδιαστεί και εφαρμοστεί και σε οπωρώνες π.χ. σε πορτοκαλιές, φιστικιές ([6], [7], [8]). Οι Αμπατζίδης και άλλοι [9] χρησιμοποίησαν ένα αυτοματοποιημένο σύστημα ασύρματης αναγνώρισης αντικειμένων, μέσω ραδιοσυχνοτήτων RFID (radio frequency identification), για τη συσχέτιση των γεμάτων με φρούτα κιβωτίων και των δέντρων από όπου συγκομίστηκαν, με στόχο τη χαρτογράφηση της παραγωγής και την ιχνηλασιμότητα των νωπών φρούτων εντός αγρού. Το συγκεκριμένο σύστημα δοκιμάστηκε με επιτυχία, όμως το κόστος των ετικετών είναι ακόμη σχετικά υψηλό. Απλά συστήματα ιχνηλασιμότητας εφαρμόζονται σε επιτραπέζια σταφύλια και στην Ελλάδα χωρίς όμως υψηλή ακρίβεια και με αρκετά προβλήματα, εξαιτίας κυρίως της διαδικασίας της συγκομιδής των επιτραπέζιων σταφυλιών η οποία πραγματοποιείται με εργάτες και όχι με μηχανήματα [10]. Σε αυτά, παρατηρείται χαμηλή ακρίβεια ιχνηλασιμότητας γιατί είναι δύσκολο ή αδύνατο να διαπιστωθεί από πιο χωράφι του παραγωγού προήλθαν τα τελικά προϊόντα και πολλές φορές η ιχνηλασιμότητα εφαρμόζεται μόνο σε επίπεδο ομάδων παραγωγών π.χ. συνεταιρισμών.

Στόχος της εργασίας αυτής είναι η παρουσίαση της κατασκευής και της δοκιμής ενός αυτοματοποιημένου συστήματος χαμηλού κόστους για τη μέτρηση και την ταυτοποίηση της παραγωγής των επιτραπέζιων σταφυλιών, με χρήση γραμμωτών κωδικών (barcodes), GPS και ψηφιακού ζυγού. Στόχος του προτεινόμενου συστήματος είναι να τροποποιήσει ελάχιστα την διαδικασία της συγκομιδής χωρίς να επηρεάζει (αυξάνει) αισθητά το χρόνο της. Το σύστημα βασίζεται στην επικόλληση φθηνών ετικετών barcodes, τα οποία περιέχουν μοναδικούς κωδικούς, στα κιβώτια του συσκευαστηρίου. Επίσης, ένας αναγνώστης barcode (barcode reader) και ένας ψηφιακός ζυγός τοποθετούνται σε ειδική κατασκευή στην καρότσα του φορτηγού, μαζί με ένα GPS. Κατά την φόρτωση των γεμάτων κιβωτίων με σταφύλια στην καρότσα, οι εργάτες

τοποθετούν κάθε κιβώτιο στην ειδική θέση όπου υπολογίζεται το βάρος του, από τον ζυγό, καταγράφεται ο κωδικός του, με το barcode reader, και η θέση του αγροτεμαχίου, από το GPS, αυτόματα χωρίς την παρέμβαση κάποιου εργάτη. Τα δεδομένα αυτά φιλτράρονται και αποθηκεύονται σε μία βάση δεδομένων, όπου και πραγματοποιείται η συσχέτιση μεταξύ των γεμάτων καρπών κιβωτίων και του κάθε αγροτεμαχίου του παραγωγού.

2. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΠΑΡΑΔΟΣΙΑΚΗΣ ΣΥΓΚΟΜΙΔΗΣ ΕΠΙΤΡΑΠΕΖΙΩΝ ΣΤΑΦΥΛΙΩΝ

Λόγω της διαφορετικής διαμόρφωσης του σχήματος των πρέμνων (κύπελο, παλμέττα κ.α.), η διαδικασία της συγκομιδής μπορεί να διαφοροποιείται από καλλιέργεια σε καλλιέργεια. Η συγκομιδή των σταφυλιών πραγματοποιείται σε ένα, δύο ή περισσότερα στάδια (χέρια), ώστε να συλλέγονται μόνο οι ώριμοι καρποί. Κατά την παραδοσιακή συγκομιδή των σταφυλιών με τα χέρια, κάθε παραγωγός ή έμπορος παραλαμβάνει έναν αριθμό κιβωτίων από το συσκευαστήριο στα οποία τοποθετούνται τα σταφύλια από τους εργάτες. Τα γεμάτα με σταφύλια κιβώτια αφήνονται δίπλα στα πρέμνα και στο τέλος της συγκομιδής εργάτες με καροτσάκια τα συλλέγουν. Στη συνέχεια τα κιβώτια φορτώνονται σε φορτηγό μικρού τύπου με καρότσα και καταλήγουν στο συσκευαστήριο. Αν η καρότσα δεν γεμίσει σε ένα αγροτεμάχιο τότε κατευθύνεται σε κάποιο άλλο του ίδιου παραγωγού ή πολλές φορές διαφορετικού παραγωγού. Στο συσκευαστήριο τα κιβώτια τοποθετούνται σε παλέτες, στις οποίες μπορεί να υπάρχουν κιβώτια με σταφύλια από διαφορετικά αγροτεμάχια του ίδιου παραγωγού ή ακόμα και άλλων παραγωγών. Τέλος, τα σταφύλια επεξεργάζονται στο συσκευαστήριο και καταλήγουν στα τελικά τελάρα στα οποία τοποθετείται κάποιος κωδικός, που αντιστοιχεί στην εταιρεία και προωθούνται στην αγορά. Έτσι, παρατηρείται χαμηλή ακρίβεια ιχνηλασιμότητας γιατί είναι δύσκολο ή αδύνατο να διαπιστωθεί από ποιο χωράφι του παραγωγού προήλθαν τα τελικά προϊόντα και πολλές φορές η ιχνηλασιμότητα εφαρμόζεται μόνο σε επίπεδο ομάδων παραγωγών π.χ. συνεταιρισμών. Ίδια προβλήματα παρουσιάζονται και σε ανάλογες περιπτώσεις στο εξωτερικό, όπου επιδιώκεται ιχνηλασιμότητα σε επίπεδο παλέτας και όχι κιβωτίου [11].

3. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Στην εργασία αυτή παρουσιάζεται η κατασκευή και η δοκιμή ενός αυτοματοποιημένου συστήματος για τη μέτρηση και την ταυτοποίηση της παραγωγής των επιτραπέζιων σταφυλιών, με συνδυασμένη χρήση γραμμωτών κωδικών (barcodes), διαφορικού GPS και ψηφιακού ζυγού, με στόχο τη δυνατότητα ιχνηλασιμότητας των προϊόντων. Προτείνεται η επικόλληση γραμμωτών κωδικών στα κιβώτια του συσκευαστηρίου, στα οποία συγκομίζονται τα επιτραπέζια σταφύλια από εργάτες. Με το παραπάνω σύστημα-κατασκευή, το οποίο θα αναλυθεί διεξοδικά παρακάτω, και κάθε φορά που ο παραγωγός ή έμπορος θα παραλαμβάνει έναν αριθμό κιβωτίων από το συσκευαστήριο καθίσταται δυνατή η ταυτοποίηση των κιβωτίων αυτών με το αντίστοιχο αγροτεμάχιο (αμπελώνα) που συγκομίστηκε.

Πιο αναλυτικά, στο σύστημα αυτό χρησιμοποιείται ένας αναγνώστης γραμμωτών κωδικών (barcode reader), TC1100, της εταιρίας Datalogic. Ο αναγνώστης αυτός ανιχνεύει τους γραμμωτούς κωδικούς σε απόσταση 20-40 cm, ανάλογα με το μέγεθός τους. Τοποθετήθηκε σε τέτοια θέση ώστε κατά την τοποθέτηση των κιβωτίων στην κατασκευή να απέχει 13-15 cm από κάθε κιβώτιο και κατά συνέπεια από τους γραμμωτούς κωδικούς (barcodes) και να τους διαβάζει υπό γωνία ώστε να επιτύχουμε ευκολότερη ανίχνευση (*Σχήμα 1*). Το ύψος τοποθέτησης του barcode reader αλλά και η

γωνία ανάγνωσης μπορούν να ρυθμιστούν ανάλογα με τις διαστάσεις του κιβωτίου και τη θέση επικόλλησης των γραμμικών κωδικών. Επιπλέον, ένας επιτραπέζιος ψηφιακός ζυγός, HD Shipping Scales, της εταιρίας My Weigh, διαστάσεων 30,5x32 cm, με ζυγιστική ικανότητα 60 kg και ακρίβεια ζύγισης 0,020 kg χρησιμοποιείται για τη μέτρηση του βάρους των γεμάτων με σταφύλια κιβωτίων. Επίσης, στην κατασκευή προσαρμόζεται ένα διαφορικό AgGPS 106 (DGPS), από την Trimble, για τον υπολογισμό των γεωγραφικών θέσεων (σε UTM) του κάθε αγροτεμαχίου (*Σχήμα 1*). Τα δεδομένα από τον αναγνώστη barcode, τον ψηφιακό ζυγό και το DGPS φιλτράρονται και αποθηκεύονται αυτόματα σε μία βάση δεδομένων, μέσω σειριακής επικοινωνίας (RS232) με φορητό ηλεκτρονικό υπολογιστή.

Σχήμα 1. Κατασκευή αυτοματοποιημένου συστήματος για τη μέτρηση και την ταυτοποίηση της παραγωγής με χρήση barcode reader, ψηφιακού ζυγού και DGPS.

Συνιστάται η τοποθέτηση της κατασκευής στην καρότσα του φορτηγού που θα μεταφέρει τα γεμάτα με σταφύλια κιβώτια στο συσκευαστήριο. Όταν οι εργάτες συλλέξουν τα κιβώτια, με τους συγκομισμένους καρπούς, θα τα τοποθετούν σε συγκεκριμένη θέση στην παραπάνω κατασκευή (*Σχήμα 2*), όπου ο αναγνώστης barcode θα ανιχνεύει (διαβάζει) τους γραμμωτούς κωδικούς, ο ψηφιακός ζυγός θα καταγράφει το βάρος τους και το DGPS τις γεωμετρικές συντεταγμένες του φορτηγού, αυτόματα χωρίς την παρέμβαση κάποιου εργάτη, ώστε να πιστοποιείται από πιο αγροτεμάχιο συγκομίστηκαν οι καρποί (απαραίτητη προϋπόθεση η γνώση των συντεταγμένων-ορίων του αγροτεμαχίου). Το σύστημα προγραμματίζεται ώστε κάθε φορά που ο ζυγός ή ο αναγνώστης καταγράφουν ένα βάρος ή έναν κωδικό αντίστοιχα, να ακούγεται ένα ηχητικό σήμα ώστε να πληροφορούνται οι εργάτες ότι οι μετρήσεις ολοκληρώθηκαν.

Σχήμα 2. Ειδική θέση για την τοποθέτηση κιβωτίου στην κατασκευή.

Η πληροφορία της συσχέτισης των κωδικών των κιβωτίων με το κάθε αγροτεμάχιο και επομένως τον κάθε παραγωγό θα μεταφέρεται σε υπολογιστές του συσκευαστηρίου

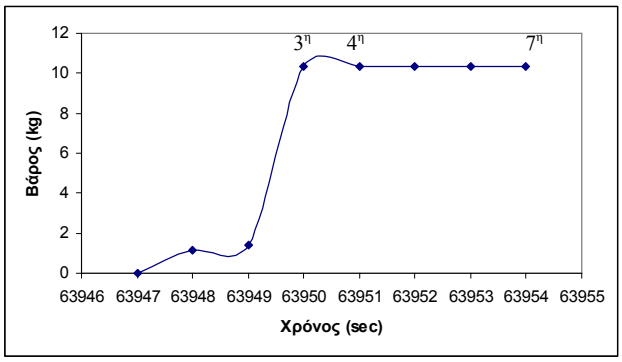
όπου κατά την επεξεργασία των σταφυλιών, με αντίστοιχο αναγνώστη barcode θα διαβάζονται οι κωδικοί των κιβωτίων και αυτόματα θα τυπώνεται νέος κωδικός που θα αντιστοιχεί στο κάθε αγροτεμάχιο (παραγωγό) και θα επικολλάται στο τελικό κιβώτιο που κατευθύνεται στην αγορά.

4. ΔΟΚΙΜΕΣ-ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Βασικός στόχος αυτού του συστήματος είναι η όσο το δυνατόν μικρότερη τροποποίηση της διαδικασία της συγκομιδής και κυρίως η μη εμπλοκή εργατών στη συλλογή της πληροφορίας. Επομένως, μελετήθηκε ο συνδυασμός των παραπάνω μηχανισμών, κυρίως του ψηφιακού ζυγού και του αναγνώστη barcode, ώστε να ελαχιστοποιηθεί ο χρόνος που απαιτείται για λήψη δεδομένων με ακρίβεια, αλλά και η πιθανότητα λήψης εσφαλμένης πληροφορίας.

4.1. Δοκιμή ψηφιακού ζυγού

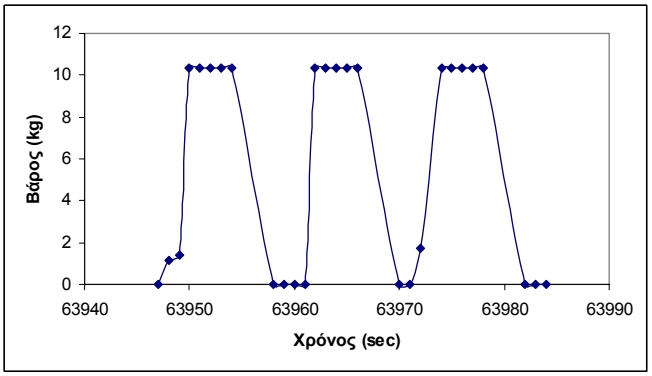
Πρώτα εξετάστηκε η λειτουργία του ψηφιακού ζυγού. Παρατηρήθηκε ότι ο ελάχιστος χρόνος που απαιτούνταν για τη λήψη ακριβής ζύγισης ήταν αρκετά υψηλός, περίπου 5-10 s. Έτσι, μελετήθηκε η λειτουργία του ζυγού ώστε να μειωθεί αυτός ο χρόνος, ο οποίος κρίθηκε ότι θα επηρέαζε (αύξανε) πάρα πολύ το χρόνο φόρτωσης των κιβωτίων στην καρότσα. Τοποθετήθηκαν κιβώτια με φρούτα, βάρους περίπου 10 kg, στο ζυγό και καταγράφηκαν τα δεδομένα του ανά δευτερόλεπτο. Ο ζυγός είναι προγραμματισμένος να δίνει τις μετρήσεις του βάρους σε κιλά με τα γράμματα ‘kg’ στο τέλος κάθε μέτρησης (π.χ. 10,00kg) και την τελική-ακριβή μέτρηση με ένα γράμμα ‘S’ στο τέλος (π.χ. 10,35kgS). Στο *Σχήμα 3* παρουσιάζονται οι μετρήσεις του ψηφιακού ζυγού κατά τη ζύγιση ενός κιβωτίου γεμάτου με φρούτα, βάρους 10,34 kg. Η τελική-ακριβής καταγραφή δόθηκε μετά από 7 s. Παρατηρείται όμως, ότι από την τρίτη μέτρηση μέχρι την τελική ($7^{η}$) η τιμή παραμένει σταθερή (=10,34kg). Άρα, θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί η $3^{η}$ ή η $4^{η}$ μέτρηση για σωστή.



Σχήμα 3. Μετρήσεις του ψηφιακού ζυγού κατά τη ζύγιση ενός κιβωτίου γεμάτου με φρούτα, βάρους 10,34 kg.

Στο *Σχήμα 4* παρουσιάζονται οι μετρήσεις του ζυγού κατά τη ζύγιση του ίδιου κιβωτίου τρεις φορές. Παρατηρείται ότι στη δεύτερη ζύγιση του κιβωτίου ο χρόνος για την τελική μέτρηση ήταν 5 s και ότι από την $1^{η}$ έως την τελευταία ζύγιση οι μετρήσεις ήταν ακριβής. Στην τρίτη ζύγιση του ίδιου κιβωτίου ο χρόνος για την τελική μέτρηση ήταν 6 s και από τη δεύτερη μέτρηση μέχρι την τελευταία τα δεδομένα ήταν ταυτόσημα και ακριβή. Επομένως, επιλέχτηκε η χρήση της μέτρησης, η οποία είναι ίση με την αμέσως προηγούμενη χωρίς να υπολογίζουμε την $1^{η}$ μέτρηση. Με τον τρόπο αυτό

μειώσαμε το χρόνο ζύγισης ενός κιβωτίου σε 3-4 s, από 5-10 s, ο οποίος κρίνεται ικανοποιητικός.



Σχήμα 4. Μετρήσεις του ζυγού κατά τη ζύγιση του ίδιου κιβωτίου τρεις φορές

4.2. Δοκιμή αναγνώστη barcode

Μελετήθηκε η συμπεριφορά του αναγνώστη γραμμωτών κωδικών (barcode reader) τόσο εντός κλειστού χώρου, αλλά κυρίως σε ανοικτούς χώρους κάτω από την επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας, η οποία επηρεάζει την λειτουργία τέτοιον συστημάτων (αυτό ήταν και κριτήριο για την επιλογή του συγκεκριμένου αναγνώστη barcode). Έτσι, τοποθετήθηκαν κιβώτια στην ειδική θέση πάνω στην κατασκευή (*Σχήμα 2*), στα οποία επικολλήθηκαν γραμμωτοί κωδικοί και καταγράφηκαν τα δεδομένα από τον αναγνώστη, ώστε να μελετηθεί η ακρίβεια του συστήματος. Το μέγεθος των γραμμωτών κωδικών ήταν 6cm x 3cm και περιείχαν πέντε αριθμητικά ψηφία (π.χ. 12345). Για τους σκοπούς τις δοκιμής επιλέχθηκαν δέκα κιβώτια μεγέθους 19cm x 53cm και δέκα κιβώτια μεγέθους 24cm x 53cm. Το ύψος και η γωνία ανάγνωσης του barcode reader στην κατασκευή ρυθμίστηκαν ώστε να επιτύχουμε μεγαλύτερη ακρίβεια μετρήσεων.

Εντός κλειστού χώρου ο αναγνώστης barcode ανίχνευσε τους γραμμωτούς κωδικούς (barcodes) όλων των κιβωτίων και δεν παρατηρήθηκαν εσφαλμένες μετρήσεις. Η ακρίβεια του συστήματος ήταν 100%. Σε παρόμοιες συνθήκες σχεδόν όλα τα μοντέλα-αναγνώστες barcode λειτουργούν χωρίς προβλήματα.

Σε ανοικτό χώρο και κατά τη διάρκεια πλήρους ηλιοφάνειας (μεσημεριανές ώρες), σε περιβάλλον παρόμοιο με τις συνθήκες φόρτωσης των γεμάτων με σταφύλια κιβωτίων στην πλατφόρμα, ελέγχθηκε η αξιοπιστία του συστήματος τοποθετώντας την κατασκευή σε διαφορετικούς προσανατολισμούς (π.χ. Βορράς, Νότος κτλ.). Σε κάθε περίπτωση ο αναγνώστης γραμμωτών ετικετών εντόπισε τις ετικέτες όλων των κιβωτίων και των δύο μεγεθών. Επομένως, το συγκεκριμένο μοντέλο (TC1100 της εταιρίας Datalogic) κρίθηκε ικανοποιητικό για την ανίχνευση των κιβωτίων κατά τη συγκομιδή των επιτραπέζιων σταφυλιών. Τέλος, η απόσταση του αναγνώστη από την ειδική θέση τοποθέτησης των κιβωτίων (η οποία κυμαίνεται από 13 έως 15cm), στην κατασκευή, και άρα από κάθε κιβώτιο επιτρέπει τόσο τη τοποθέτηση του κιβωτίου χωρίς τραυματισμούς στα χέρια των εργατών όσο και την ασφαλή καταγραφή των δεδομένων με υψηλή ακρίβεια.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην εργασία αυτή παρουσιάστηκε ένα αυτοματοποιημένο σύστημα για τη μέτρηση και την ταυτοποίηση της παραγωγής των επιτραπέζιων σταφυλιών, με χρήση γραμμωτών κωδικών (barcodes), GPS και ψηφιακού ζυγού. Ένας αναγνώστης barcode (barcode reader) και ένας ψηφιακός ζυγός τοποθετούνται σε ειδική κατασκευή στην

καρότσα του φορτηγού, μαζί με ένα GPS. Φθηνές ετικέτες barcodes επικολλώνται στα κιβώτια συλλογής των καρπών. Κατά την φόρτωση των γεμάτων κιβωτίων με σταφύλια στην καρότσα, οι εργάτες τοποθετούν κάθε κιβώτιο στην ειδική θέση όπου υπολογίζεται το βάρος του, από τον ζυγό, καταγράφεται ο κωδικός του, με το barcode reader, και η θέση του αγροτεμαχίου, από το GPS, αυτόματα χωρίς την παρέμβαση κάποιου εργάτη. Τα δεδομένα αυτά φιλτράρονται και αποθηκεύονται σε μία βάση δεδομένων, όπου και πραγματοποιείται η συσχέτιση μεταξύ των γεμάτων καρπών κιβωτίων και του κάθε αγροτεμαχίου του παραγωγού. Βασικός στόχος αυτού του συστήματος είναι η όσο το δυνατόν μικρότερη τροποποίηση της διαδικασία της συγκομιδής και κυρίως η μη εμπλοκή εργατών στη συλλογή της πληροφορίας. Επομένως, μελετήθηκε ο συνδυασμός των παραπάνω μηχανισμών, κυρίως του ψηφιακού ζυγού και του αναγνώστη barcode, ώστε να ελαχιστοποιηθεί ο χρόνος που απαιτείται για λήψη ακριβή δεδομένων, αλλά και η πιθανότητα λήψης εσφαλμένης πληροφορίας. Μειώθηκε ο χρόνος μέτρησης του βάρους των κιβωτίων, από το ζυγό, περίπου στο μισό από τον αντίστοιχο εργοστασιακό (από τα 5-10 s τροποποιήθηκε στα 3-4 s) και παράλληλα επιλέχτηκε ο κατάλληλος αναγνώστης γραμμωτού κωδικού, ο οποίος διαβάζει τους κωδικούς από απόσταση 20-40cm, ανάλογα με το μέγεθος τους, κάτω από την επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας. Το προτεινόμενο σύστημα σχεδιάστηκε έτσι ώστε να τροποποιεί ελάχιστα την διαδικασία της συγκομιδής και συγκεκριμένα τη φόρτωση των κιβωτίων στη πλατφόρμα χωρίς να επηρεάζει (αυξάνει) σημαντικά το χρόνο της.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Thysen, I., 2000. Agriculture in the information society. J. Agric. Eng. Res. 76, 297–303.
2. Regattieri, A., Gamberi, M. and Manzini, R., 2007. Traceability of food products: General framework and experimental evidence. Journal of Food Engineering, Volume 81, Issue 2, July 2007, Pages 347-356.
3. Opara, L.U., 2003. Traceability in agriculture and food supply chain: a review of basic concepts, technological implications and future prospects. Journal of Food, Agriculture and Environment 1:1 101- 106. (www.world-food.net)
4. Abbott, H., 1991. Managing a Product Recall. Ed. Pitman: London.
5. Sarig, Y., 2003. Traceability of food products. CIGR Journal of Scientific Research and Developments, 5(12), 54–65.
6. Thomas, D.L., Perry, C.D., Vellidis, G., Durrence, J.S., Kutz, L.J., Kvien, C.K., Boydell, B. and Hamrita T.K. 1999. Development and implementation of a load cell yield monitor for peanut. Applied Engineering in Agriculture 15(3): 211–216.
7. Schueller, J.K., Whitney, J.D., Wheaton, T.A., Miller, W.M. and Turner, A.E., 1999. Low–cost automatic yield mapping in hand–harvested citrus. Computers and Electronics in Agriculture 23(2): 145–154.
8. Salehi, F., Whitney, J.D., Miller, W.M., Wheaton, T.A. and Drouillard, G., 2000. An automatic triggering system for a citrus yield monitor. ASAE Paper No. 001130. ASAE, St. Joseph, MI, USA.
9. Ampatzidis, Y., Vougioukas, S., Bochtis, D. and Tsatsarelis, C., 2007. A yield mapping system for hand-harvested fruits based on RFID and GPS location technologies. In: Proceedings at the 6th ECPA Conference (European Conference on Precision Agriculture), Skiathos, Greece, 3-6 June 2007.
10. Τσατσαρέλης, Κ.Α., 2003. Μηχανική συγκομιδή γεωργικών προϊόντων. Εκδόσεις Διαχούδη-Γιαπούλη, Θεσσαλονίκη.
11. Bollen, A.F., 2004. Traceability in Fresh Produce Supply Chains. ISHS Acta Horticulturae 687: International Conference Postharvest Unlimited Downunder.

(185)

ΑΝΤΙΛΗΨΗ ΕΛΛΗΝΩΝ ΑΓΡΟΤΩΝ ΓΙΑ ΤΗ ΓΕΩΡΓΙΑ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ

Σ. Μουρτζίνης, Σ. Φουντάς, Θ. Γέμτος
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, Οδός Φυτόκου, 38446 Ιωνία Μαγνησίας
e-mail : sfountas@agr.uth.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η γεωργία ακριβείας είναι μια τεχνική διαχείρισης των αγροτεμαχίων που ξεκίνησε πριν από περίπου 15 χρόνια. Στη χώρα μας βρίσκεται ακόμη σε ερευνητικό επίπεδο και μία έρευνα για την αντίληψη των Ελλήνων αγροτών πραγματοποιήθηκε. Προσωπικές συντεντεύξεις πραγματοποιήθηκαν σε σύνολο 130 παραγωγών σε σύνολο 9 περιοχών της χώρας μας. Μόνο ένα 9% των ερωτηθέντων εμφανίστηκε να γνωρίζει τη γεωργία ακριβείας και ένα μικρότερο ποσοστό χρησιμοποιεί κάποιες από τις τεχνικές της. Από τα κυριότερα προβλήματα στην υιοθέτησή της είναι το κόστος, ο χρόνος εκμάθησης και η ελλιπής ενημέρωση των παραγωγών.

FARMERS PERCEPTION ON PRECISION AGRICULTURE IN GREECE

S. Mourtzinis, S. Fountas, T. Gemtos
University of Thessaly, Department of Crop Production and Rural Environment.
Fytoko str. 38 446 N. Ionia Magnisias, e-mail: sfountas@agr.uth.gr

ABSTRACT

Precision Agriculture is a new management strategy which has been initiated over the last 15 years. In Greece, it is still in its infancy and at research level. A survey to study farmers' attitudes towards Precision Agriculture was carried out. A total of 130 personal interviews were undertaken in 9 different regions across the country. Only 9% of the respondents seemed to know what Precision Agriculture is about and a small percentage was actually using some of the techniques. From the main obstacles in the adoption of Precision Agriculture were the cost of investment, time for the learning curve, as well as insufficient information.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο παρελθόν, πριν την εκμηχάνιση της γεωργίας , ο κάθε παραγωγός είχε άμεση σχέση με το χωράφι του, αφού όλες οι εργασίες εκτελούνταν χειρωνακτικά. Έτσι ήταν σε θέση να γνωρίζει τα σημεία του χωραφιού με διαφορετικά χαρακτηριστικά και μπορούσε να τα διαχειρισθεί ανάλογα με τις απαιτήσεις τους κατά σημείο.

Με την ανάπτυξη της γεωργίας και την εξέλιξη των μηχανημάτων και την εκμετάλλευση μεγαλύτερων εκτάσεων, αυτή η σχέση χάθηκε. Δεν είναι εύκολο για τον παραγωγό να γνωρίζει την παραλλακτικότητα του χωραφιού. Η ανάπτυξη της τεχνολογίας σήμερα του δίνει τη δυνατότητα να χειριστεί καλύτερα τα χωράφια του, να αντιμετωπίσει αυτή την παραλλακτικότητα με σκοπό την αύξηση της παραγωγής, την μείωση των περιβαλλοντικών αρνητικών επιπτώσεων στο έδαφος και στο περιβάλλον και φυσικά την αύξηση του κέρδους.

Η Γεωργία Ακριβείας (Precision Agriculture, Precision Farming, Site Specific Farming) είναι ένας τρόπος διαχείρισης αγρών και γεωργικών εκμεταλλεύσεων. Στόχος είναι να αντιμετωπιστεί η παραλλακτικότητα των παραμέτρων που επηρεάζουν τη γεωργική παραγωγή, όπως το pH, τα θρεπτικά στοιχεία, το νερό, η οργανική ουσία, η στράγγιση, η προσβολή από ζιζάνια κλπ. Αυτό επιτυγχάνεται με το διαχωρισμό του αγρού σε μικρότερα ομοιογενή τμήματα που ονομάζονται ζώνες διαχείρισης (management zones). Η διαχείριση των ζωνών αυτών γίνεται με βάση τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τους. Πιο συγκεκριμένα Γεωργία Ακριβείας είναι η εφαρμογή της κατάλληλης εισροής, στο σημείο που χρειάζεται, στη κατάλληλη δόση και στο σωστό χρόνο, με την ελάχιστη δυνατή επιβάρυνση του περιβάλλοντος [1]. Αποτέλεσμα είναι η μεγιστοποίηση της οικονομικής απόδοσης της γεωργικής εκμετάλλευσης, προϊόντα απαλλαγμένα από περιττά χημικά αλλά και η προστασία του περιβάλλοντος.

Η υιοθέτηση της γεωργίας ακριβείας ποικίλει από χώρα σε χώρα και από ήπειρο σε ήπειρο. Μεγαλύτερη υιοθέτηση παρατηρείται στις Η.Π.Α. και ακολουθεί η Αυστραλία, η Αργεντινή και αρκετές χώρες της Δυτικής Ευρώπης. Χαρακτηριστικό είναι πως στις ΗΠΑ περίπου το 50% της συγκομιδής σόγιας και καλαμποκιού πραγματοποιείται με τη χρήση αισθητήρων μέτρησης της παραγωγής [2].

Σκοπός της παρούσας έρευνας ήταν η διερεύνηση της γνώσης και εξοικοίωσης των ελλήνων γεωργών με την ένοια της Γεωργίας Ακριβείας (Γ. Α.).

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Για την έρευνά πραγματοποιήθηκαν προσωπικές συνεντεύξεις με παραγωγούς. Ο συνολικός αριθμός των παραγωγών που ερωτήθηκαν ήταν 130 σε διάφορες περιοχές της Ελλάδας όπως Φλώρινα, Έδεσσα, Σέρρες, Λάρισα, Τρίκαλα, Λαμία, Λεχαινά, Χανιά, και Ρέθυμνο, για να παραχθεί ένα πιο γενικευμένο αποτέλεσμα. Στις προσωπικές συνεντεύξεις ένα ερωτηματολόγιο είχε δημιουργηθεί τόσο με κλειστές (πολλαπλής επιλογής) όσο και με ανοικτές ερωτήσεις. Έρευνες με τυχαίο δείγμα (non-random surveys) μπορούν να προσδώσουν σημαντικές πληροφορίες όταν δεν υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα σχετικά με το αντικείμενο της μελέτης και η έρευνα στοχεύει είτε σε προκαταρκτική μελέτη του αντικειμένου [3], είτε σε έρευνα θεμάτων που σχετίζονται με τις νέες τεχνολογίες [4], όπως συμβαίνει στην παρούσα μελέτη. Οι επιλογή των παραγωγών ήταν τυχαία ανεξαρτήτου ηλικίας, ιδιοκτησίας και τύπου καλλιέργειας. Το ερωτηματολόγιο αποτελείται από 29 ερωτήσεις, από τις οποίες 13 είναι γενικές με σκοπό να διαπιστώσουμε τη σχέση του παραγωγού με τη τεχνολογία και γενικότερα τις διαθέσεις του και το ενδιαφέρον του για το επάγγελμα του γεωργού. Οι υπόλοιπες 16 ερωτήσεις χωρίζονται σε δυο ομάδες. Η πρώτη ομάδα αποτελείται από 5 ερωτήσεις και αναφέρονταν σε παραγωγούς οι οποίοι γνωρίζουν τι είναι γεωργία ακριβείας. Η δεύτερη

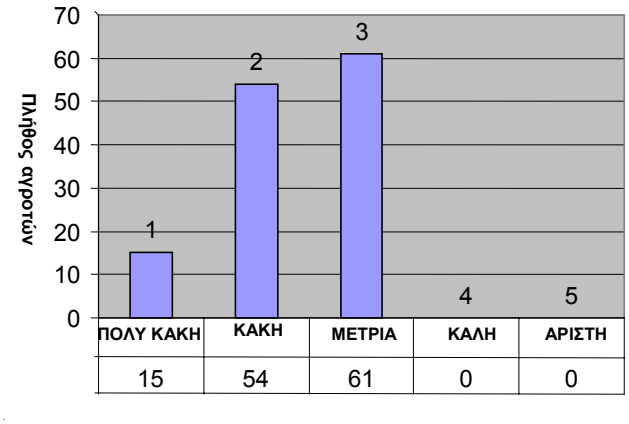
ομάδα αποτελείτο από 11 ερωτήσεις και αφορά παραγωγούς οι οποίοι δεν γνωρίζουν τι είναι γεωργία ακριβείας.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Παρακάτω αναφέρονται τα αποτελέσμα επιλεγμένων ερωτήσεων όσον αφορά γενικές απόψεις παραγωγών και την προσέγγισή τους στο θέμα της Γεωργίας Ακριβείας. Η παρουσίαση των αποτελεσμάτων έχει οργανωθεί σε τρείς κατηγορίες: γενικές ερωτήσεις, γνώστες γεωργίας ακριβείας, μη γνώστες γεωργίας ακριβείας.

3.1. Γενικές θέματα γεωργίας

Στην γράφημα του σχήματος 1 φαίνεται η γνώμη των παραγωγών για τη γενική κατάσταση της γεωργίας στη χώρα μας. Είναι προφανής η γνώμη των παραγωγών για τη κατάσταση της γεωργίας στη χώρα μας. Όλοι θεωρούν πως είναι από μέτρια έως κακή ενώ περισσότεροι από τους μισούς παραγωγούς βρίσκουν τη κατάσταση της γεωργίας στη χώρα μας από κακή έως πολύ κακή.



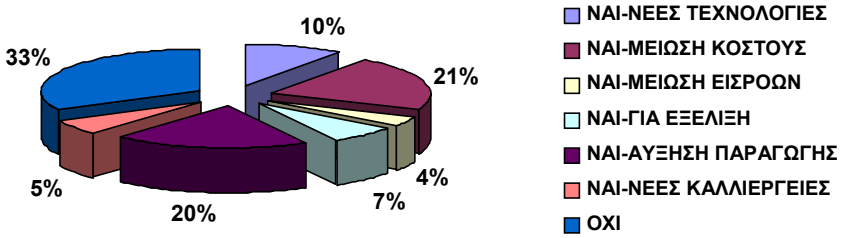
Σχήμα 1. Γενική κατάσταση γεωργίας.

Σε ερώτηση αν οι παραγωγοί είναι ικανοποιημένοι με την πληροφόρησή τους σε θέματα νέων τεχνολογιών και νέων καλλιεργειών, μόλις το 15% των ερωτηθέντων παραγωγών πιστεύουν ότι παρέχονται σε αυτούς αρκετές πληροφορίες ενώ το υπόλοιπο 85% απάντησε κατηγορηματικά όχι.

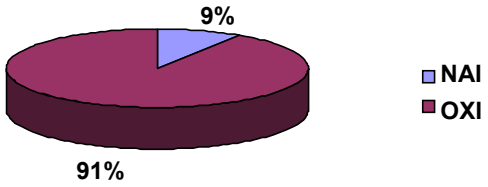
Το Σχήμα 2 παρουσιάζει τις απαντήσεις των παραγωγών στον αν προτείθεντο να κάνουν αλλαγές στον τρόπο καλλιέργειας. Όπως βλέπουμε 1 στους 3 παραγωγούς θεωρούν πως δεν θα χρειαστεί να κάνουν αλλαγές στο τρόπο που καλλιεργούν. Θετικά απάντησε το 67% των παραγωγών για διάφορους λόγους όπως: η μείωση του κόστους, η αύξηση της παραγωγής, η χρησιμοποίηση νέας τεχνολογίας, για να εξελίσσονται ως επαγγελματίες, η καλλιέργεια νέων καλλιεργειών και τέλος για μείωση των εισροών (βάση των νέων κανονισμών της Ε.Ε).

Στην Σχήμα 3 απεικονίζεται το ποσοστό των παραγωγών που γνωρίζουν την Γεωργία Ακριβείας. Μόνο το 9% γνώριζε πραγματικά τι είναι γεωργία ακριβείας. Δηλαδή από τους 130 παραγωγούς γνώριζαν οι 12. Αξίζει να σημειωθεί από τους 12 αυτούς παραγωγούς, οι 9 διάβασαν για τη γεωργία ακριβείας από διάφορα έντυπα ενώ οι υπόλοιποι τρεις από γεωπόνους. Είναι αξιοσημείωτο να αναφερθεί ότι σε έρευνα στην

Αγγλία πριν ακριβώς 10 χρόνια το 1997 έδειξε ότι το 15% των αγροτών στη Βρετανία όχι μόνο γνώριζε αλλά και χρησιμοποιούσε κάποιες από τις τεχνικές γεωργίας ακριβείας



Σχήμα 2. Πρέπει να κάνετε αλλαγές στον τρόπο διαχείρισης;



Σχήμα 3. Γνωρίζεται τη Γεωργία Ακριβείας

3.2 Γνώστες γεωργίας ακριβείας

Από τους παραγωγούς που γνώριζαν τη γεωργία ακριβείας μόνο πέντε παραγωγοί χρησιμοποιούν κάποια από τις τεχνικές και συγκεκριμένα τη δειγματοληψία και ανάλυση εδάφους. Κάποιες από τις τεχνικές που θα ήθελαν να χρησιμοποιήσουν είναι η αυτοματοποίηση της εργασίας, χαρτογράφηση παραγωγής, επιλεκτική ζιζανιοκτονία – λίπανση, μέτρηση ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους και όπως οι ίδιοι λένε οποιαδήποτε άλλη τεχνική που δεν γνωρίζω και μπορεί να μου αυξήσει το εισόδημα'.

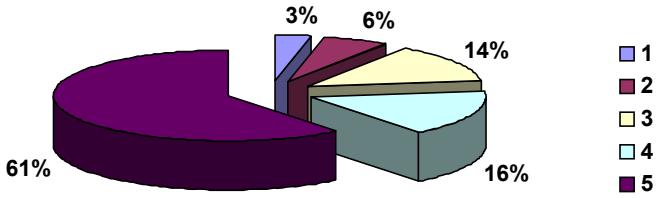
Σημαντικό πρόβλημα στην υιοθέτηση της γεωργία ακριβείας θεωρούν το κόστος χρήσης, την ελλιπή ενημέρωση, τα μικρά αγροτεμάχια, την έλλειψη υποδομής αλλά και την αδιαφορία των νέων αγροτών.

Τέλος για το αν υπάρχει μέλλον για τη γεωργία ακριβείας στην Ελλάδα οι απόψεις διίστανται από αυτούς που είχαν αναφέρει ότι γνωρίζουν την γεωργία ακριβείας. Έξι πιστεύουν πως μπορεί να χρησιμοποιηθεί από πολλούς αγρότες στο μέλλον. Οι υπόλοιποι έξι διαφωνούν για λόγους όπως το κόστος χρήσης, την ελλιπή ενημέρωση, τα μικρά αγροτεμάχια, την έλλειψη υποδομής, το αμφίβολο όφελος αλλά και το χαμηλό επίπεδο των παραγωγών καθώς και η αδιαφορία τους.

3. 3 Μη γνώστες Γεωργίας Ακριβείας

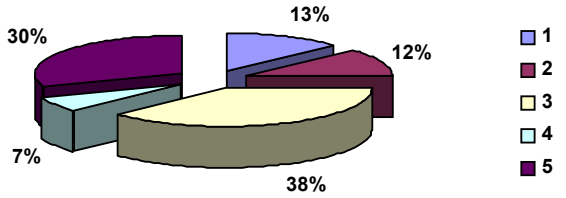
Αυτή η κατηγορία συμπεριλαμβάνει τις απαντήσεις των ερωτηθέντων που δεν γνωρίζουν τι είναι γεωργία ακριβείας. Ενδεικτικά αναλύουμε κάποιες από αυτές. Στο Σχήμα 4 φαίνεται η προθυμία των αγροτών να αλλάξουν καλλιεργητικές τεχνικές με σκοπό καλύτερη παραγωγικότητα. Θεωρώντας τις απαντήσεις 4 και 5 ως θετικές απαντήσεις είναι φανερό πως το μεγαλύτερο ποσοστό (77%) είναι πρόθυμο να αλλάξει

καλλιεργητικές τεχνικές ώστε να αυξηθεί η παραγωγή. Μόνο το 9% δεν ενδιαφέρεται καθόλου να αλλάξει καλλιεργητικές τεχνικές, ενώ το 14% έχει μάλλον αμφιβολίες.



Σχήμα 4. Προθυμία αλλαγής τεχνικών προς αύξησης παραγωγικότητας (1=καθολου έως 5=παρα πολύ)

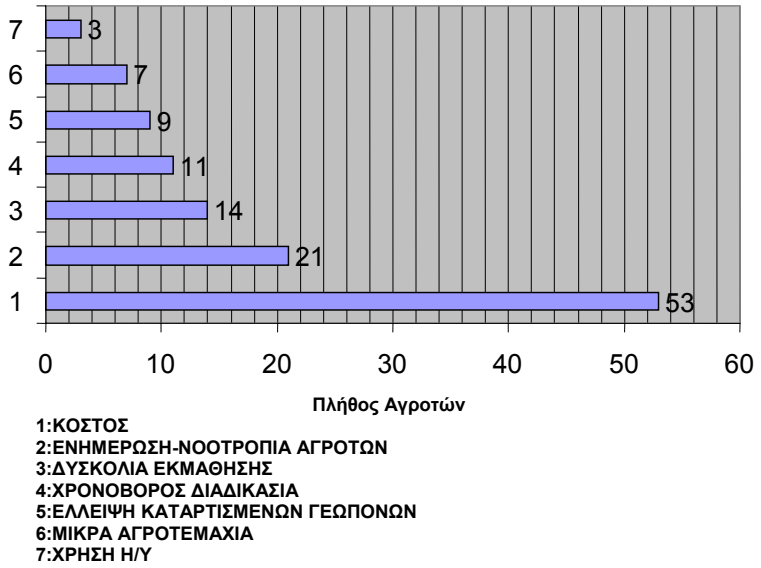
Στο Σχήμα 5 φαίνεται η πραγματική πρόθεση των παραγωγών στο να επενδύσουν σε χρήματα και χρόνο για την εκμάθεση και υιοθέτηση νέων τεχνικών γεωργίας ακριβείας. Το μεγαλύτερο ποσοστό των ερωτηθέντων απάντησε με τον αριθμό 3. Αυτό μεταφράζεται σαν μια ουδέτερη στάση, ή αμφιβολία ή ίσως και αμφισβήτηση σε αυτό το επόμενο βήμα, την εκμάθηση και εγκατάσταση δηλαδή των τεχνικών Γ.Α με τη προϋπόθεση να επενδύσουν σε χρόνο, κόπο και χρήματα. Θετικά (δηλαδή 4 και 5) απάντησε το 37%. Αρνητικά (δηλαδή 1 και 2) απάντησε το 25%. Σε αντιπαράθεση με τις απάντησης της προηγούμενης ερώτησης το ποσοστό το οποίο απάντησε θετικά μειώθηκε από 77% σε 37% και το ποσοστό το οποίο απάντησε αρνητικά αυξήθηκε από 9% σε 25%.



Σχήμα 5. Ενδιαφέρον επένδυσης σε χρόνο και χρήματα για εκμάθηση και υιοθέτηση πρακτικών γεωργίας ακριβείας (1=καθολου έως 5=παρα πολύ).

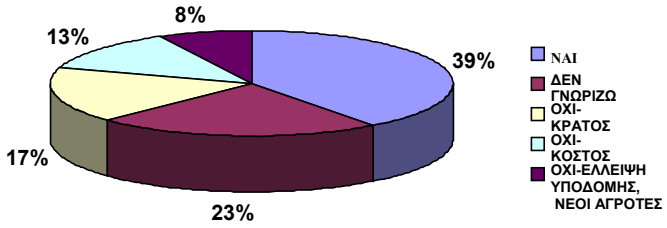
Ουσιαστικά όμως οι δυσκολίες των παραγωγών στη χρησιμοποίηση τεχνικών Γ.Α. φαίνονται στην επόμενη ερώτηση (Σχήμα 6) για το ποιο είναι το κυριότερο πρόβλημα στη χρησιμοποίηση της Γ. Α. Όπως φαίνεται στο παραπάνω γράφημα η κυριότερη δυσκολία των ερωτηθέντων παραγωγών στη χρησιμοποίηση τεχνικών(Γ.Α) είναι κατά κύριο λόγο το μεγάλο κόστος. Ακόμα θεωρούν πως η ανεπαρκής ενημέρωση των αγροτών σε συνδυασμό με τη νοοτροπία που επικρατεί είναι ένα ακόμα σοβαρό πρόβλημα. Πολλοί πιστεύουν πως η εκμάθηση της νέας αυτής τεχνολογίας είναι αρκετά δύσκολη και χρονοβόρος διαδικασία. Υπάρχει η αντίληψη ότι δεν υπάρχουν καταρτισμένοι γεωπόνοι στις νέες τεχνολογίες και τα μικρά αγροτεμάχια καθιστούν τη χρήση της Γ.Α πολύ δύσκολη. Τέλος ένα μικρό ποσοστό βρίσκει δύσκολη τη χρήση του Η/Υ. Χαρακτηριστικό είναι επίσης πως τα ίδια προβλήματα εμφανίστηκαν να έχουν και

παραγωγοί και σε άλλες χώρες όπως στην Αγγλία, Δανία και ΗΠΑ στην υιοθέτηση της Γ. Α. [5, 6]. Έρευνα σχετικά με τη διάχυση της πληροφορικής και των τηλεπικοινωνιών στη γεωργία στα πλαίσια των αντίστοιχων ευρωπαικών συνεδρίων έδειξε πως ίσως το σημαντικότερο πρόβλημα στην εξάπλωση των υπολογιστών στη γεωργία είναι η έλειψη εκπαίδευσης των αγροτών [7].



Σχήμα 6. Προβλήματα υιοθέτησης γεωργίας ακριβείας.

Από τις σημαντικότερες ερωτήσεις της έρευνας μας ήταν η τελευταία που υποδηλώνσι μια γενική άποψη των παραγωγών για τη Γ.Α., αν δηλαδή υπάρχει μέλλον για τη Γ. Α. στην Ελλάδα (Σχήμα 7). Βάση του γραφήματος θα μπορούσαμε να χωρίσουμε τις απαντήσεις αρχικά σε τρεις κατηγόριες. Η πρώτη κατηγορία με ποσοστό 39% αποτελείται από παραγωγούς που πιστεύουν πως υπάρχει μέλλον στη χώρα μας για τη χρήση τεχνικών Γ.Α. Η δεύτερη κατηγορία με ποσοστό 23% που οι παραγωγοί προτίμησαν να μην απαντήσουν θετικά ή αρνητικά στην ερώτηση. Όπως οι ίδιοι είπαν, δεν γνώριζαν αρκετά για να εκφέρουν άποψη. Και μια τρίτη κατηγορία με ποσοστό 38% οι παραγωγοί της οποίας απάντησαν αρνητικά και πιστεύουν πως δεν υπάρχει μέλλον για τη Γ.Α. Το μεγαλύτερο ποσοστό από αυτούς τους αγρότες θεωρούν υπεύθυνο το κράτος και την ανικανότητα του να βοηθήσει τον έλληνα αγρότη σε συνδυασμό με το αυξημένο κόστος εγκατάστασης της τεχνολογίας, την έλλειψη υποδομής αλλά και τη μείωση των νέων αγροτών.



Σχήμα 7. Υπάρχει μέλλον στη Γ. Α. στην Ελλάδα;

Σε μια προσπάθεια να διερευνήσουμε διαφορές σε παραγωγούς ηλικίας κάτω των 45 ετών, γιατί αυτοί έχουν μεγαλύτερες πιθανότητες να γνωρίζουν για νέες τεχνολογίες που να αφορούν το επάγγελμα τους και η θέληση τους για αλλαγή και πρόοδο να είναι ακόμα μεγαλύτερη, από το σύνολο των 130 ερωτηθέντων οι 81 ήταν κάτω των 45 ετών. Από τα 81 αυτά άτομα γνωρίζουν οι 9. Αν αναλογιστούμε πως συνολικά, από τους 130, γνώριζαν 12 τότε βλέπουμε πως πράγματι οι νεότεροι αγρότες είναι αυτοί που γνωρίζουν.

Στην ερώτηση αν είναι πρόθυμοι να αλλάξουν τις καλλιεργητικές τεχνικές με σκοπό την αύξηση της παραγωγικότητας, ενθαρυντικά ήταν τα αποτελέσματα αφού υπήρχε μια αύξηση κατά 7% προς την θετική κατεύθυνση και μία μείωση του 3% προς την αρνητική κατεύθυνση.

Στην ερώτηση αν θα επένδυδαν σε χρόνο και χρήμαα για την υιοθέτηση της Γ. Α. ενθαρυντικά ήταν επίσης τα αποτελέσματα στους νέους αγρότες, αφού θετικά απάντησε το 41%. Το αντίστοιχο ποσοστό για το σύνολο των παραγωγών ήταν 37%. Σχεδόν αμετάβλητο έμεινε το ποσοστό των αναποφάσιστων (37% από 38%), ενώ έχουμε μικρή μείωση των παραγωγών που απάντησαν αρνητικά (22% από 25%). Θα μπορούσαμε να πούμε με βάση τα αποτελέσματα πως οι παραγωγοί μεγαλύτερης ηλικίας είναι πιο επιφυλακτικοί ενώ σχεδόν οι μισοί Έλληνες παραγωγοί, ηλικίας έως 45 ετών θα επένδυαν χρόνο, κόπο και χρήματα για την εγκατάσταση, εκμάθηση και χρησιμοποίηση τεχνικών Γ.Α.

Τέλος αμετάβλητα ήταν τα αποτελέσματα των παραγωγών κάτω των 45 ετών για τα κύρια προβλήματα στη χρησιμοποίηση της Γ. Α., αφού τα αποτελέσματα σε αυτή την ερώτηση είναι παρόμοια με τις απαντήσεις του συνόλου των αγροτών. Θα μπορούσαμε να πούμε ότι οι απαντήσεις και τα ποσοστά των απόψεων, των νέων και των μεγαλύτερων σε ηλικία παραγωγών, συμπίπτουν. Τελικά ίσως οι αγρότες κάθε ηλικίας να έχουν τους ίδιους φόβους και αγωνίες.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- Ένα 9% γνωρίζει τη σημαίνει Γ. Α., ενώ ένα ακόμη μικρότερο ποσοστό χρησιμοποιεί κάποιες από τις τεχνικές της Γ. Α.
- Το 77% των ερωτηθέντων παραγωγών είναι πρόθυμο προς αλλαγές στις τεχνικές καλλιέργειες, και το 37% προτίθενται να αφιερώσουν χρόνο και χρήματα για την εκμάθηση τεχνικών Γ. Α. προς όφελος της παραγωγής τους.
- Κόστος, χρόνος εκμάθησης και ελιππής ενημέρωση είναι τα κύρια προβλήματα υιοθέτησης Γ. Α.

- Ερωτηθέντες κάτω από 45 ετών είναι πιο πρόθυμοι για την υιοθέτηση νέων καλλιεργητικών τεχνικών όπως και για την υιοθέτηση της Γ. Α., σε σχέση με παραγωγούς μεγαλύτερης ηλικίας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Fountas, S., Blackmore, S., Pedersen, S. M. 2005. Information and Telecommunication Technologies (ICT) in Precision Agriculture. In "ICT in Agriculture", edited by Ehud Gelb. E-book. Center for Agricultural Economic Research of The Hebrew University of Jerusalem.
2. Griffin, T.W., J. Lowenberg-Deboer, D.M. Lambert, J. Peone, T. Payne, and S.G. Daberkow, 2004. Adoption, Profitability, and Making Better Use of Precision Farming Data. Staff Paper #04-06. Department of Agricultural Economics, Purdue University.
3. Lohr, S. 1999. Sampling: Design and Analysis (Duxbury Press, Florense, KY, USA), p. 450.
4. Toure, A. A. 1994. Economic Constraints to Rice Based Rotations in Niger. MS Thesis, Purdue University, West Lafayette, IN, USA.
5. Fountas, S. 2001. Farmers' attitude towards Precision Farming. 3rd Conference on Precision Agriculture, Montpellier, France, June 18-20, 2001
6. Fountas, S., Ess, D., Sorensen, C. G., Hawkins, S., Pedersen, H. H., Blackmore, S., and Lowenberg-Deboer, J. 2004. Farmer experience with Precision Agriculture in Denmark and US Eastern Corn Belt. Precision Agriculture 5, 1–21.
7. Gelb, E., Wagner, P., Rosskopf, K., Parker, C., Schiefer, G. 2004. ICT Adoption - From Bonn to Debrecen: A Summary of the EFITA Questionnaires. AFITA/WCCA Conference 2004.

(186)

ΜΕΛΕΤΗ ΧΩΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΧΡΟΝΙΚΗΣ ΠΑΡΑΛΛΑΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΣΕ ΟΠΩΡΩΝΕΣ ΜΗΛΙΑΣ

Α. Δ. Αγγελοπούλου , S. Blackmore, Σ. Φουντάς, Θ. Α. Γέμτος και Γ. Δ. Νάνος

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, Οδός Φυτόκου, Ν.Ιωνία Μαγνησίας, Τ.Κ. 38446, e-mail:aggelop@agr.uth.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στη παρούσα εργασία παρουσιάζονται αποτελέσματα από την ανάλυση της χωρικής και χρονικής παραλλακτικότητας παραγωγής και ποιότητας σε δύο οπωρώνες μηλιάς. Έγινε χαρτογράφηση παραγωγής και ποιοτικών χαρακτηριστικών (βάρος καρπού, χρώμα, σκληρότητα σάρκας, περιεκτικότητα χυμού σε διαλυτά στερεά συστατικά και οξύτητα χυμού) για τρία έτη. Στη συνέχεια δημιουργήθηκαν χάρτες τάσης παραγωγής και ποιότητας που δείχνουν την μέση τιμή των μετρούμενων μεγεθών στα τρία έτη. Επίσης δημιουργήθηκαν χάρτες χρονικής παραλλακτικότητας που δείχνουν τη διαφορά στη παραγωγή και στην ποιότητα σε κάθε σημείο του αγρού από έτος σε έτος.

SPATIAL AND TEMPORAL VARIABILITY OF YIELD AND QUALITY IN APPLE ORCHARDS

A.D. Aggelopoulou, S. Blackmore, S. Fountas, T.A. Gemtos and G.D. Nanos

University of Thessaly, Sc. of Agricultural Sciences, Dept. of Crop Production & Rural Environment, Fytokou Str., 38446, N. Ionia, Magnesia, aggelop@agr.uth.gr

ABSTRACT

In the present study the results of the analysis of spatial and temporal variability of yield and quality in two apple orchards are presented. In the experimental orchards yield and quality mapping (fruit mass, skin colour, flesh firmness, soluble solids content and juice acidity) was performed for three years. Then spatial trend maps were created showing the mean value in yield and quality over the three years. Also temporal variance maps were created showing the difference in yield and quality in every point of the field from year to year.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Όπως είναι γνωστό οι αγροί δεν είναι ομοιόμορφοι αλλά οι ιδιότητές τους (έδαφος, παραγωγή, ποιοτικά χαρακτηριστικά) διαφέρουν από περιοχή σε περιοχή (χωρική παραλλακτικότητα) και από χρονιά σε χρονιά (χρονική παραλλακτικότητα). Η χωρική παραλλακτικότητα οφείλεται κυρίως στις διαφορές στο έδαφος ενός αγρού ενώ η χρονική παραλλακτικότητα πιθανότατα οφείλεται στις διαφορετικές κλιματικές συνθήκες που επικρατούν από έτος σε έτος. Η κατανόηση των παραγόντων που προκαλούν την παραλλακτικότητα αυτή μπορεί να οδηγήσει στην ορθότερη διαχείριση αγρών.

Η γεωργία ακριβείας είναι μια νέα μέθοδος διαχείρισης των αγρών σύμφωνα με την οποία (φυτοφάρμακα, λιπάσματα, νερό άρδευσης) εφαρμόζονται μόνο εκεί που είναι απαραίτητες και στην ακριβή ποσότητα που απαιτείται [1]. Για να γίνει αυτό πρέπει να γίνουν γνωστές οι ιδιότητες του αγρού, όπως είναι η παραγωγή και τα χαρακτηριστικά του εδάφους σε κάθε θέση του. Σήμερα είναι δυνατή η χαρτογράφηση των αγρών διότι έχουν αναπτυχθεί τεχνολογίες όπως είναι το Παγκόσμιο Σύστημα Προσδιορισμού Θέσης (GPS) με το οποίο είναι δυνατός ο προσδιορισμός της θέσης ενός σημείου στη γη μέσω ενός συστήματος δορυφόρων και τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (GIS) που είναι λογισμικά με τα οποία δημιουργούνται οι αντίστοιχοι χάρτες.

Τα πλεονεκτήματα από τη εφαρμογή της γεωργίας ακριβείας είναι : α) οικονομικά διότι δεν γίνεται σπατάλη των εισροών και μπορεί να αυξηθεί η παραγωγή και να βελτιωθεί η ποιότητα των προϊόντων και β) περιβαλλοντικά διότι εφαρμόζοντας τις αναγκαίες ποσότητες εισροών δεν προκαλείται ρύπανση του εδάφους και των νερών.

Οι πιο πολλές εφαρμογές της γεωργίας ακριβείας μέχρι σήμερα είναι σε φυτά μεγάλης καλλιέργειας όπου έχουν αναπτυχθεί οι αντίστοιχοι αισθητήρες μέτρησης παραγωγής που προσαρμόζονται στις μηχανές συγκομιδής [2, 3, 4]. Στις δενδροκομικές καλλιέργειες γίνεται μεγάλη έρευνα στο Πανεπιστήμιο της Φλόριντα (ΗΠΑ) σε εσπεριδοειδή. Έχουν αναπτυχθεί συστήματα χαρτογράφησης παραγωγής [5], εκτίμησης του όγκου της κόμης των δένδρων με υπερήχους [6] και συστήματα εφαρμογής λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων με μεταβλητές δόσεις [7]. Επίσης υπάρχουν εφαρμογές σε άλλες περιοχές στην ελιά [8], στο αμπέλι [9] και σε καλλιέργειες φρούτων [10] και λαχανικών [11].

Στη χώρα μας η έρευνα για την δυνατότητα εφαρμογής της γεωργίας ακριβείας ξεκίνησε τα τελευταία χρόνια σε καλλιέργεια βαμβακιού [12] μήλων [13,14] και αμπελιού [15]. Τα πρώτα αποτελέσματα έδειξαν ότι υπάρχει σημαντική χωρική παραλλακτικότητα στο έδαφος στην παραγωγή και στη ποιότητα παρόλο το μικρό μέγεθος των αγροκτημάτων.

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη της χωρικής και χρονικής παραλλακτικότητας της παραγωγής και των ποιοτικών χαρακτηριστικών των καρπών σε δύο οπωρώνες μηλιάς που βρίσκονται στην Μακεδονία και τη Θεσσαλία.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Η έρευνα πραγματοποιήθηκε σε δύο περιοχές: στην Πτολεμαΐδα Κοζάνης σε οπωρώνα έκτασης 8στρ. για τα έτη 2004, 2005 και 2006 και στην Αγιά Λάρισας σε αγρό έκτασης 50στρ. για τα έτη 2005 και 2006. Και στους δύο αγρούς η κύρια ποικιλία ήταν η Red Chief. Το σχήμα δια μόρφωσης των δένδρων ήταν παλμέττα. Οι αποστάσεις φύτευσης ήταν για την Πτολεμαΐδα 4Χ2,5μ. και για την Αγιά 3,5Χ2μ.

Στους πειραματικούς αγρούς πραγματοποιήθηκε χαρτογράφηση παραγωγής και ποιοτικών χαρακτηριστικών των καρπών. Η χαρτογράφηση παραγωγής έγινε για τον οπωρώνα της Πτολεμαΐδας ζυγίζοντας την παραγωγή ανά 5 δένδρα και καταγράφοντας

τις συντεταγμένες στο κέντρο των πέντε δένδρων με υπολογιστή παλάμης εφοδιασμένο με GPS. Για τον αγρό της Αγιάς έγινε ακριβώς η ίδια διαδικασία ζυγίζοντας την παραγωγή ανά δέκα δένδρα.

Για την εκτίμηση της ποιότητας λήφθηκαν δείγματα καρπών και καταγράφηκαν οι συντεταγμένες των θέσεων λήψης των δειγμάτων. Ο αριθμός των δειγμάτων που λήφθηκαν ήταν 30 για τον αγρό της Αγιάς και 55 για τον αγρό της Πτολεμαΐδας. Το κάθε δείγμα είχε 6 καρπούς προερχομένους από δύο γειτονικά δένδρα. 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.

Ακολούθησε η ανάλυση των δεδομένων που διενεργήθηκε σε τρία στάδια: α) δημιουργία χαρτών τάσης παραγωγής και ποιότητας, οι οποίοι δημιουργήθηκαν χρησιμοποιώντας τους μέσους όρους των τιμών στα τρία χρόνια του πειράματος και δείχνουν την τάση που διαμορφώνεται στα μετρούμενα μεγέθη σε κάθε σημείο του αγρού β) δημιουργία ιστογραμμάτων που δείχνουν τις διαφορές στην παραγωγή και στην ποιότητα από χρονιά σε χρονιά και γ) δημιουργία χαρτών χρονικής παραλλακτικότητας που δείχνουν περιοχές του αγρού που η παραγωγή ή η ποιότητα είναι σταθερή στο χρόνο και περιοχές στις οποίες η παραγωγή ή η ποιότητα δεν είναι σταθερή και μεταβάλλεται από χρονιά σε χρονιά.

Η χρονική παραλλακτικότητα υπολογίστηκε χρησιμοποιώντας την εξίσωση (1) η οποία προτάθηκε από τους Blackmore και άλλους [2].

$$\sigma_t^{\,2} = \frac{\Sigma_{t=04}^{t=06}(y_{t,i} - \overline{y_t})^2}{3} \qquad (1)$$

όπου σ_t^2 είναι η χρονική παραλλακτικότητα στο σημείο *i* , *t* ο χρόνος από το 2004 έως το 2006, $y_{t,i}$ το μετρούμενο μέγεθος (παραγωγή ή ποιότητα) στο χρόνο t και στο σημείο *i* και $\overline{y_t}$ είναι η μέση τιμή του μετρούμενου μεγέθους για όλο τον οπωρώνα στο έτος *t.*

Χαμηλές τιμές της χρονικής παραλλακτικότητας δείχνουν περιοχές του αγρού στις οποίες η τιμή του μετρούμενου μεγέθους είναι πάντα κοντά στη μέση τιμή και άρα σταθερές με το χρόνο. Υψηλές τιμές της χρονικής παραλλακτικότητας δείχνουν περιοχές του αγρού που οι τιμές του μετρούμενου μεγέθους αλλάζουν από έτος σε έτος.

Οι δημιουργία των χαρτών πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας την μέθοδο παρεμβολής kriging σε ένα πλέγμα 2Χ2μ με το λογισμικό Surfer®

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Το μέγεθος της χωρικής παραλλακτικότητας μπορεί να εκφραστεί με τον συντελεστή παραλλακτικότητας που είναι το πηλίκο της τυπικής απόκλισης προς το μέσο όρο. Στον Πίνακα 1 παρουσιάζονται οι μέσοι όροι και οι συντελεστές παραλλακτικότητας για την παραγωγή και την ποιότητα στους δύο πειραματικούς αγρούς. Η παραγωγή έδειξε σημαντική παραλλακτικότητα με CV~20% για την Πτολεμαΐδα και αρκετά υψηλότερο CV~50% για την Αγιά, στην οποία το μέγεθος του οπωρώνα είναι πολύ μεγαλύτερο και το έδαφος περισσότερο ανομοιόμορφο. Τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των καρπών έδειξαν μικρότερη παραλλακτικότητα από την παραγωγή με συντελεστές παραλλακτικότητας που κυμάνθηκαν από 3-20% περίπου. Από τα ποιοτικά χαρακτηριστικά την μικρότερη παραλλακτικότητα έδειξαν τα διαλυτά στερεά συστατικά και η σκληρότητα σάρκας και μεγαλύτερη το βάρος καρπού η οξύτητα χυμού και το χρώμα. Το χρώμα εκφράζεται με την γωνία Hue, η οποία εκφράζει την απόχρωση και

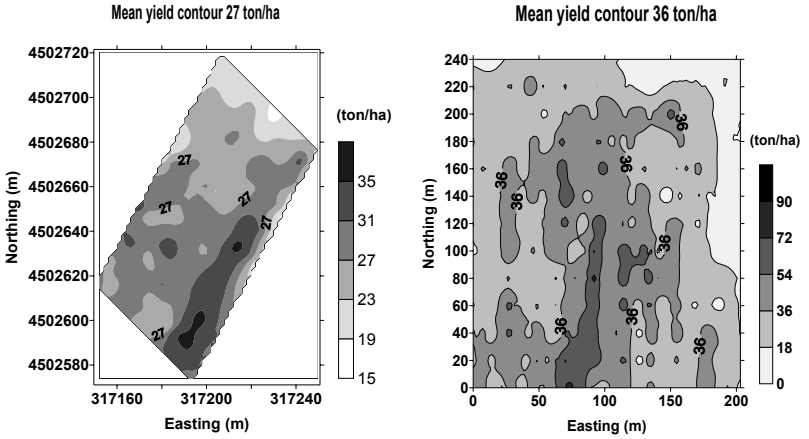
όσο πλησιάζει τις 0° το χρώμα γίνεται κόκκινο ενώ πηγαίνοντας στις 90 ^{o} το χρώμα γίνεται κίτρινο.

Η μέσοι όροι της παραγωγής δεν είχαν μεγάλες διαφορές από έτος σε έτος. Στην Πτολεμαΐδα η μέση παραγωγή για το 2004 και 2005 ήταν περίπου η ίδια (24 τόννοι/ εκτάριο) ενώ το 2006 ήταν αρκετά υψηλότερη (32 τόννοι/εκτάριο). Στην Αγιά η μέση παραγωγή ήταν περίπου ίδια για τα δύο έτη πειραματισμού και ήταν για το 2005 (36τόννοι/εκτάριο) και 2006(34τόννοι/εκτάριο). Ασφαλώς χρειάζονται περισσότερα έτη μετρήσεων για να οδηγηθούμε σε ασφαλές συμπέρασμα σχετικά με το αν η παραγωγή παρουσιάζει διαφορές από έτος σε έτος. Στις ετήσιες καλλιέργειες έχουν παρατηρηθεί σημαντικές διαφορές στην παραγωγή από χρονιά σε χρονιά [2] ενώ στις πολυετείς λέγεται ότι η παραγωγή είναι πιο σταθερή με το χρόνο. Επίσης παρατηρούμε ότι η μέση παραγωγή στην Αγιά είναι υψηλότερη από την Πτολεμαΐδα σε όλα τα έτη του πειράματος. Έχει παρατηρηθεί ότι λόγω εδαφοκλιματικών συνθηκών στα πεδινά όπως είναι η Αγιά (υψόμετρο 160μ) οι αποδόσεις είναι μεγαλύτερες από τα ορεινά όπως είναι η Πτολεμαΐδα (υψόμετρο 690μ). Αντίθετα η ποιότητα στα ορεινά ήταν καλύτερη όσον αφορά το χρώμα των καρπών και την περιεκτικότητα του χυμού σε μηλικό οξύ. Το χρώμα των καρπών στην Πτολεμαΐδα ήταν πολύ καλό βαθύ κόκκινο (Hue~ 20 ^{o}) ενώ στην Αγιά ήταν πιο ανοικτό κόκκινο και ειδικά το 2006 οι καρποί δεν είχαν καλό χρώμα λόγω των παρατεταμένων υψηλών θερμοκρασιών τον Αύγουστο. Το μηλικό οξύ που είναι το κύριο οξύ των μήλων το οποίο δίνει το άρωμα στους καρπούς, στην Πτολεμαΐδα είχε υψηλότερες τιμές από την Αγιά δείχνοντας την καλύτερη ποιότητα των καρπών. Σχετικά με τα διαλυτά στερεά και την σκληρότητα σάρκας και στις δύο περιοχές οι καρποί είχαν πολύ καλή ποιότητα με διαλυτά στερεά περίπου 14% και σκληρότητα σάρκας περίπου 7 KgF.

Πίνακας 1. Μέσοι όροι (ΜΟ) και συντελεστές παραλλακτικότητας (CV) της παραγωγής και των ποιοτικών χαρακτηριστικών των καρπών στους πειραματικούς αγρούς της Αγιάς και της Πτολεμαΐδας

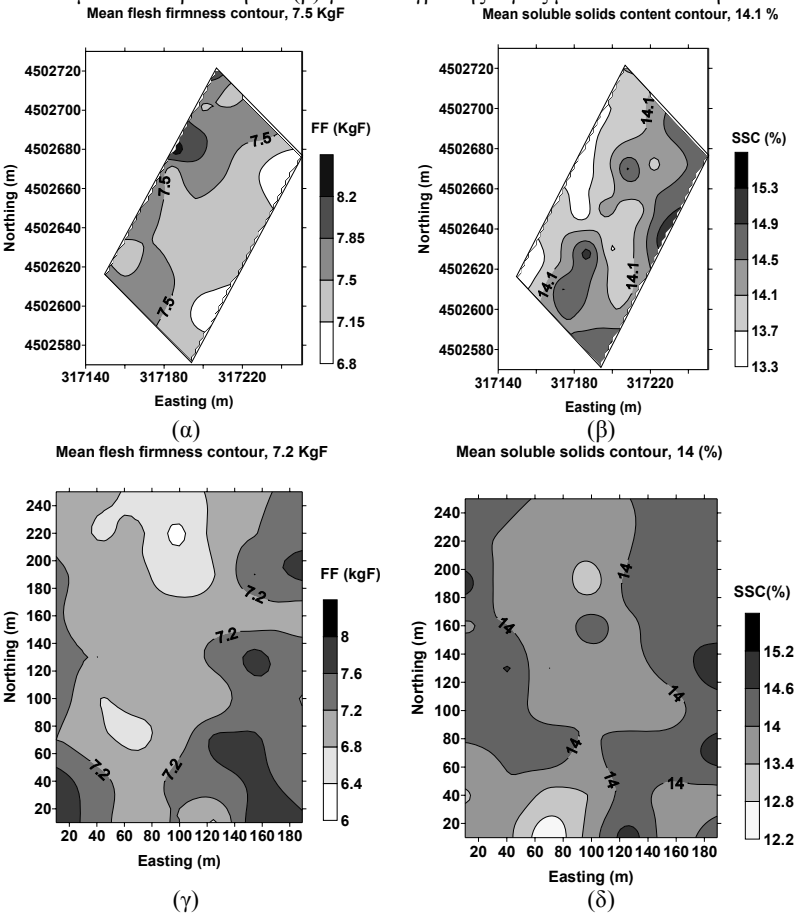
Περιοχή	Πτολεμαΐδα						Αγιά			
Έτος	2004		2005		2006		2005		2006	
Μεταβλητή	ΜΟ	CV	ΜΟ	CV	ΜΟ	CV	ΜΟ	CV	ΜΟ	CV
Παραγωγή (τον/εκτάριο)	24,6	20	24,4	24	31,7	19,5	36,4	50,9	34	43,5
Βάρος καρπού (g)	196,3	7,3	246,2	10,7	228,5	9,3	238,2	10,5	232,7	10,1
Σκληρότητα σάρκας (kg F)	7,8	3,9	6,5	8,6	8,1	5	7	7,1	7,3	5,6
Διαλυτά στερεά (%)	14,9	3,8	15,2	4,4	12,3	7,6	13,2	7,1	14,8	5,2
Οξύτητα χυμού (%)	0,296	9,1	0,329	12,5	0,264	8,7	0,245	22,5	0,238	13,3
Hue (o)	19,1	8,3	21,6	17,4	22,7	13,2	31,8	19,6	49,7	18,1

Στο Σχήμα 1 παρουσιάζονται οι χάρτες τάσης παραγωγής για τους δύο πειραματικούς αγρούς για όλα τα έτη του πειράματος. Οι χάρτες αυτοί προέκυψαν υπολογίζοντας σε κάθε σημείο την μέση παραγωγή για όλα τα έτη. Παρατηρούμε ότι στον αγρό της Πτολεμαΐδας, το νότιο τμήμα του αγρού παράγει πάνω από τον μέσο όρο για όλα τα έτη και όλα τα σημεία που είναι 27 τόνοι/εκτάριο ενώ το βόρειο τμήμα έχει μικρότερη παραγωγή. Στην Αγιά υπάρχει μια ζώνη στο κεντρικό τμήμα του αγρού που παράγει πάνω από 36 τόνους / εκτάριο που είναι ο γενικός μέσος όρος και περιφερειακά αυτής της ζώνης υψηλής παραγωγής η παραγωγή είναι χαμηλότερη. Αυτό πιθανό να οφείλεται στο ανάγλυφο του εδάφους διότι το κεντρικό τμήμα έχει χαμηλότερο υψόμετρο από τα όρια και επομένως τα θρεπτικά στοιχεία και το νερό συγκεντρώνονται σε αυτό το τμήμα και η παραγωγή είναι υψηλότερη.



(α) (β)

Σχήμα 1. Χάρτες τάσης παραγωγής για την ποικιλία Red Chief (α) για τον αγρό της Πτολεμαΐδας μετά από τρία έτη και (β) για τον αγρό της Αγιάς μετά από δύο έτη.



(α) (β)

(γ) (δ)

Σχήμα 2. Χάρτες τάσης ποιότητας για την ποικιλία Red Chief για τον αγρό της Πτολεμαΐδας μετά από τρία έτη : (α) σκληρότητα σάρκας, (β) διαλυτά στερεά συστατικά και για τον αγρό της Αγιάς μετά από δύο έτη: (δ) σκληρότητα σάρκας, (ε) διαλυτά στερεά συστατικά.

Αντίστοιχα με τους χάρτες τάσης παραγωγής έγιναν και οι χάρτες τάσης για την ποιότητα των καρπών (Σχήμα 2). Από τους αντίστοιχους χάρτες για την Αγιά (Σχήματα 2γ, 2δ) φαίνεται ότι στο κεντρικό τμήμα του αγρού που η παραγωγή είναι υψηλή η ποιότητα είναι χαμηλή (χαμηλότερη σκληρότητα σάρκας και χαμηλότερα διαλυτά στερεά συστατικά). Παρατηρείται δηλαδή αρνητική συσχέτιση μεταξύ παραγωγής και ποιότητας καρπών. Στην Πτολεμαΐδα συμβαίνει κάτι ανάλογο με την σκληρότητα σάρκας (Σχήμα 2α) όχι όμως με τα διαλυτά στερεά συστατικά (Σχήμα 2 β).

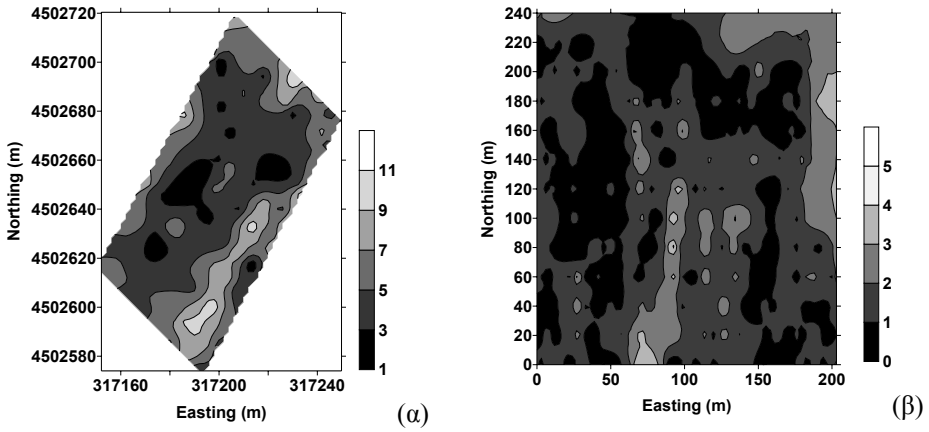
Στη συνέχεια δημιουργήθηκαν οι χάρτες χρονικής παραλλακτικότητας για την παραγωγή και την ποιότητα (Σχήματα 3, 4 και 5). Για την δημιουργία των χαρτών υπολογίστηκε σε κάθε σημείο του αγρού η χρονική τυπική απόκλιση που είναι η τετραγωνική ρίζα της χρονικής παραλλακτικότητας σ^2 που δίνεται από την εξίσωση (1). Στις περιοχές του αγρού που η χρονική τυπική απόκλιση είναι χαμηλή σημαίνει ότι η τιμή του μετρούμενου μεγέθους είναι κοντά στη μέση τιμή για όλα τα έτη και άρα σταθερή με το χρόνο. Αντίθετα σε περιοχές που η χρονική τυπική απόκλιση είναι υψηλή η παραγωγή ή η ποιότητα άλλες χρονιές είναι υψηλή και άλλες χρονιές χαμηλή και άρα όχι σταθερή με το χρόνο. Στο χάρτη της Πτολεμαΐδας για την παραγωγή (Σχήμα 3α) το μεγαλύτερο τμήμα του αγρού παράγει σταθερά στα τρία έτη του πειράματος και μόνο τα περιθώρια του αγρού έχουν διαφορές από έτος σε έτος. Αν ο χάρτης αυτός συνδυαστεί με τον αντίστοιχο χάρτη τάσης παραγωγής (Σχήμα 1α) συμπεραίνεται ότι το νότιο τμήμα του αγρού παράγει σταθερά υψηλά, το βόρειο τμήμα του αγρού παράγει σταθερά χαμηλά και στα όρια υπάρχει διαφορά από έτος σε έτος. Στον αντίστοιχο χάρτη για την Αγιά παρατηρούμε ότι υπάρχουν περιοχές του αγρού που η παραγωγή είναι κοντά στη μέση τιμή και άρα σταθερή και άλλες που διαφέρει από έτος σε έτος αλλά δεν μπορούν να εξαχθούν ασφαλή συμπεράσματα διότι οι μετρήσεις είναι μόνο για δύο έτη.

Όσον αφορά την χρονική παραλλακτικότητα στην ποιότητα φαίνεται ότι και στον αγρό της Πτολεμαΐδας (Σχήμα 4) και στον αγρό της Αγιάς (Σχήμα 5) οι τιμές των ποιοτικών χαρακτηριστικών δεν παραμένουν σταθερές με το χρόνο γεγονός σε συγκεκριμένες περιοχές του αγρού που πιθανόν οφείλεται στην επίδραση των καιρικών συνθηκών και της εποχής συγκομιδής που διαφέρουν από έτος σε έτος.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

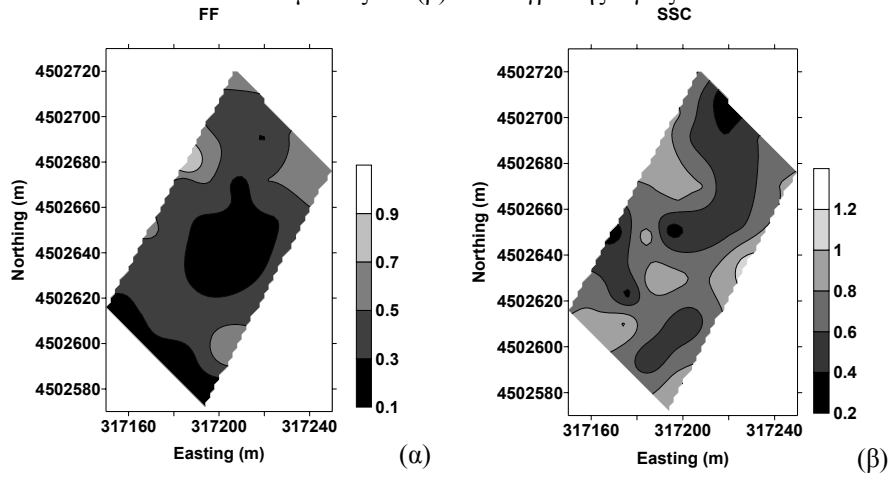
Από τα αποτελέσματα της παραπάνω εργασίας προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

1. Οι οπωρώνες έδειξαν σημαντική χωρική παραλλακτικότητα στην παραγωγή με συντελεστές παραλλακτικότητας 20% για τον αγρό της Πτολεμαΐδας και πολύ μεγαλύτερη, γύρω στο 50%, για τον αγρό της Αγιάς.
2. Η χωρική παραλλακτικότητα στην ποιότητα ήταν μικρότερη από την παραγωγή με συντελεστές παραλλακτικότητας να κυμαίνονται από 3-20%. Από τα ποιοτικά χαρακτηριστικά την μικρότερη παραλλακτικότητα έδειξαν τα διαλυτά στερεά συστατικά και η σκληρότητα σάρκας και μεγαλύτερη το βάρος καρπού η οξύτητα χυμού και το χρώμα.
3. Η μέσοι όροι της παραγωγής δεν είχαν μεγάλες διαφορές από έτος σε έτος αποτέλεσμα που συμφωνεί με την άποψη ότι στις πολυετείς καλλιέργειες η παραγωγή είναι πιο σταθερή με τον χρόνο σε σχέση με τις ετήσιες.
4. Οι τιμές των ποιοτικών χαρακτηριστικών των καρπών διαφέρουν από έτος σε έτος γεγονός που πιθανόν οφείλεται στις διαφορετικές κλιματικές συνθήκες που επικρατούν.
5. Ο συνδυασμός του χάρτη τάσης παραγωγής ή ποιότητας με τον αντίστοιχο χάρτη χρονικής παραλλακτικότητας μπορεί να βοηθήσει στον προσδιορισμό ομογενών ζωνών διαχείρισης των αγρών, όπου η διαχείριση μπορεί να είναι ενιαία.



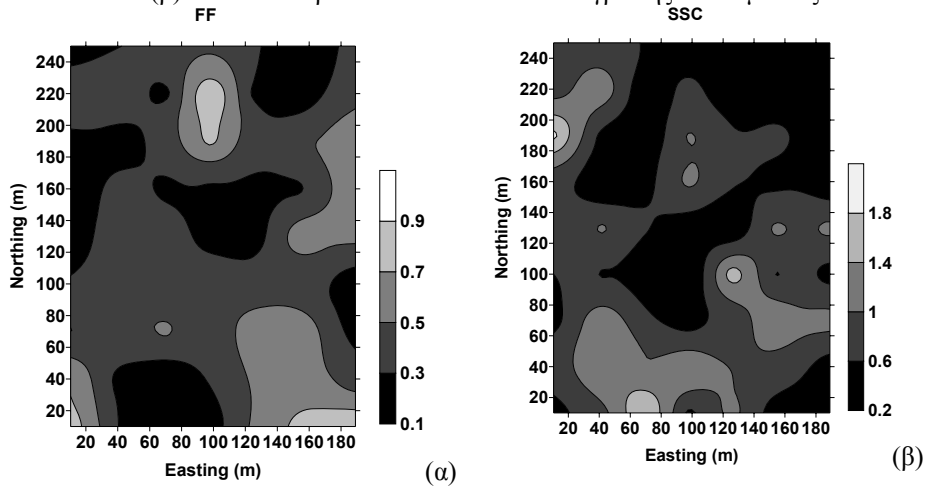
(α) (β)

Σχήμα 3. Χάρτες χρονικής παραλλακτικότητας για την παραγωγή (α) στον αγρό της Πτολεμαΐδας και (β) στον αγρό της Αγιάς.



(α) (β)

Σχήμα 4. Χάρτες χρονικής παραλλακτικότητας για την ποιότητα (α) σκληρότητα σάρκας και (β) διαλυτά στερεά συστατικά και στον αγρό της Πτολεμαΐδας



(α) (β)

Σχήμα 5. Χάρτες χρονικής παραλλακτικότητας για την ποιότητα (α) σκληρότητα σάρκας και (β) διαλυτά στερεά συστατικά στον αγρό της Αγιάς.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Earl R, Wheeler P N, Blackmore B S, Godwin R J.,1996. Precision farming- the management of variability. Landwards, 51(4), 18-23
2. 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
3. Hofman, A.R., Penigrahi, S.,Gregor, B.,Walker, J. (1995). In field monitoring sugar beets ASAE paper 95-2114, ASAE, St Joseph, Michigan.
4. Velidis, G. C., Perry, D., Thomas, D. L., Wells, N., Kvien, C. K., 2003. Simultaneous assessment of cotton yield monitors. Applied Engineering in Agriculture, 19(3), 259-272.
5. Schuller, J. K., Whitney, J. D., Wheaton, T. A., Miller, W. M., and Turner, A. E. 1999. Low-cost automatic yield mapping in hand harvested citrus. Computers and Electronics in Agriculture 23, 145-153.
6. Schumann, A. W. and Zaman, Q. U., 2005. Software development for real-time ultrasonic mapping of tree canopy size. Computers and Electronics in Agriculture, 47, 25-40.
7. Zaman, Q., Schuman, W. A., Miller W.M., 2006. Variable Rate Nitrogen Application in Florida Citrus based on Ultrasonically-Sensed Tree Size. Applied Engineering in Agriculture 21, 331-335
8. Granados, F. L., Exposito, M. J., 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.
9. Bramley, R.G.V., 2002 . Progress in the development of precision viticulture-Variation in yield, quality and soil properties in contrasting Ausrtralian vineyards. CSIRO Australia. http://www.csiro.au.
10. Pozdnyakova, L., Gimenez, D., Oudemans P. V., 2005. Spatial analysis of cranberry yield at three scales. Agronomy Journal, 97, 49-57.
11. Pelletier G., Upadyaya S. K., 1999. Development of a tomato load/yield monitor. Computers and Electronics in Agriculture, 23, 103-107.
12. Gemtos T. A., Markinos A.,. Toulios L., Pateras D., and Zerva. G., 2004. Precision Farming Applications in Cotton Fields of Greece. Presented in the CIGR conference Beijing, China 11-14/10/04 in Precision Agriculture Session No 30, Proceedings in CD 30_ 096A. pdf.
13. K.D. Aggelopoulou, S. Fountas, T.A. Gemtos G.D. Nanos and D. Wulfsohn, 2006. Precision farming in small apple fields of Greece. 8ο Παγκόσμιο Συνέδριο Γεωργίας Ακριβείας, 23-26 Ιουλίου 2006, Μινεάπολη, ΗΠΑ. (Πρακτικά σε CD)
14. K. D. Aggelopoulou , D. Pateras, S. Fountas, T. A. Gemtos and G. D. Nanos. 2007. Soil spatial variability in small Greek apple orchards. 6ο Ευρωπαϊκό Συνέδριο Γεωργίας Ακριβείας, 3-6 Ιουνίου 2006, Σκιάθος, σελ, 71-78.
15. Tagarakis, A., Chatzinikos, T., Fountas, S., Gemtos, T. 2006. Delineation of Management Zones in Precision Viticulture, 3rd HAICTA Conference, p.547-554.

(188)

ΖΩΝΕΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΒΑΣΕΙ ΧΑΡΤΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ, ΠΟΙΟΤΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ

Α. Τάνος, Α. Αγγελοπούλου, Σ. Φουντάς, Θ.Α. Γέμτος, Γ.Δ. Νάνος και Α. Χατζηνίκος

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, Οδός Φυτόκου, 38446 Ιωνία Μαγνησίας

e-mail : alexandros.tanos@gmail.com

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία έγινε χαρτογράφηση παραγωγής, ποιοτικών χαρακτηριστικών των καρπών (βάρος καρπού, χρώμα καρπού, περιεκτικότητα σε διαλυτά στερεά συστατικά, σκληρότητα σάρκας και οξύτητα χυμού) και ηλεκτρικής αγωγιμότητας (ECa) του εδάφους σε οπωρώνα μηλιάς έκτασης 50 στρεμμάτων στην περιοχή Αγιά Λάρισας. Οι χάρτες έδειξαν σημαντική παραλλακτικότητα σε όλα τα μετρούμενα μεγέθη. Στη συνέχεια δημιουργήθηκαν ζώνες διαχείρισης του αγρού με τη μέθοδο της ασαφούς ομαδοποίησης.

MANAGEMENT ZONES BASED ON YIELD MAPS, QUALITY CHARACTERISTICS AND ELECTRICAL CONDUCTIVITY

A. Tanos, A. Aggelopoulou, S. Fountas, T.A. Gemtos, G.D. Nanos, A. Chatzinikos

University of Thessaly, Department of Crop Production and Rural Environment. Fytoko str. 38 446 N. Ionia Magnisias

e-mail : alexandros.tanos@gmail.com

ABSTRACT

In the present study numerous maps of yield, quality (fruit mass, fruit color, soluble solids content, flesh firmness and juice acidity) and electrical conductivity (ECa) were created in a 5 ha apple orchard located in Agia area. The maps showed significant variability in all measured properties. The delineation of management zones of the orchard followed using fuzzy clustering.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η γεωργία ακριβείας (precision farming) είναι μια νέα μέθοδος διαχείρισης των αγρών που λαμβάνει υπόψη τη χωρική παραλλακτικότητα των παραμέτρων προκειμένου να εφαρμοστούν διαφορετικά επίπεδα εισροών. Η εφαρμογή γεωργίας ακριβείας σε συνεργασία με την υπάρχουσα εμπειρία μπορεί:

1. Να βελτιστοποιήσει το εισόδημα του παραγωγού
2. Να ελαχιστοποιήσει τις αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον από τα αγροχημικά.
3. Να βελτιστοποιήσει το δυναμικό παραγωγής και την ποιότητα του παραγόμενου προϊόντος.
4. Να βοηθήσει τη διαδικασία ιχνηλασιμότητας σε διάφορα συστήματα ποιότητας (HACCP, ISO, IPM) [1].

Στόχος της γεωργίας ακριβείας είναι να προσαρμόσουμε τις εισροές στις απαιτήσεις των καλλιεργειών σύμφωνα με την παραλλακτικότητα που παρουσιάζουν οι διάφοροι παράγοντες στα διάφορα τμήματα του αγρού. Δηλαδή αν κάποιο σημείο χρειάζεται περισσότερη ή λιγότερη λίπανση σε σχέση με την εφαρμογή του μέσου όρου, ή αν σε μια καλλιέργεια απαιτείται συγκομιδή σε διαφορετικές ημερομηνίες ώστε να αποφύγουμε την ποιοτική υποβάθμιση. Η διαφοροποίηση των διαφόρων εργασιών ανάλογα με την παραλλακτικότητα ονομάζονται μεταβλητές καλλιεργητικές φροντίδες.

Για να γίνει εφαρμογή των μεταβλητών καλλιεργητικών φροντίδων, απαιτείται να γίνει πρώτα διαχωρισμός του αγρού σε διάφορες περιοχές ή ζώνες. Στη γεωργία ακριβείας οι περιοχές ονομάζονται Ζώνες Διαχείρισης (management zones). Ζώνες διαχείρισης είναι τα τμήματα ενός αγρού που έχουν κοινά χαρακτηριστικά (εδαφολογικά,αγρονομικά χαρακτηριστικά, παραγωγή) και μπορούν να διαχειριστούν ως ενιαία [2].

Για τη δημιουργία των ζωνών διαχείρισης χρησιμοποιούνται διάφορες μέθοδοι, ανάλογα με τα μέσα που έχουμε. Καταρχήν γίνεται καταγραφή των ιδιοτήτων του εδάφους και της καλλιέργειας (δειγματοληψίες εδάφους, χρήση αισθητήρων μέτρησης παραγωγής, ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους, χρήση δορυφορικών εικόνων και αεροφωτογραφιών εδάφους και καλλιεργειών) και κατανομή τους στο χωράφι. Στη συνέχεια με τη χρήση στατιστικών μεθόδων όπως είναι η ασαφής συσταδοποίηση (fuzzy clustering), που στηρίζεται στη θεωρία των ασαφών συνόλων αναλύουμε και ομαδοποιούμε τα χαρακτηριστικά που μετρήθηκαν στις καλλιέργειες. Η ασαφής ομαδοποίηση ταξινομεί τα σημεία ή τις παρατηρήσεις σε δύο ή περισσότερες κλάσεις.

Μία από τις ιδιότητες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν με ευκολία στην δημιουργία ζωνών διαχείρισης είναι η ηλεκτρική αγωγιμότητα. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα είναι η ιδιότητα του εδάφους που ορίζεται ως η ευκολία με την οποία διέρχεται το ηλεκτρικό ρεύμα δια μέσου της μάζας του. Οι κυριότεροι παράγοντες που την επηρεάζουν είναι η αλατότητα του εδάφους, η υγρασία και η ποσότητα αργίλου. Άλλοι παράγοντες που την επηρεάζουν είναι η συμπίεση του εδάφους, η οργανική ουσία και η θερμοκρασία [2].

Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν η δημιουργία ζωνών διαχείρισης σε ένα οπωρώνα με μήλα με βάση δεδομένα παραγωγής, ποιότητας των καρπών και ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Η έρευνα πραγματοποιήθηκε την καλλιεργητική περίοδο 2006, σε οπωρώνα μηλιάς στον Αετόλοφο Λάρισας (υψόμετρο 100μ.), έκτασης 50 στρ. Οι αποστάσεις φύτευσης στον οπωρώνα είναι 3,5 m μεταξύ τω γραμμών και 2 m επί των γραμμών.

Πραγματοποιήθηκαν οι εξής μετρήσεις:

1 Χαρτογράφηση παραγωγής

2. Χαρτογράφηση ποιότητας

3. Χαρτογράφηση ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους.

Η χαρτογράφηση παραγωγής έγινε τον Σεπτέμβριο του 2006 με ζύγιση της παραγωγής ανά δέκα δένδρα και ως συντεταγμένες χρησιμοποιήθηκαν οι θέσεις των δέντρων επειδή είναι συγκεκριμένες. Για την χαρτογράφηση ποιοτικών χαρακτηριστικών των καρπών ελήφθησαν δείγματα καρπών σε ένα πλέγμα 30 m x 30 m και με συντεταγμένες πάλι τις θέσεις των δέντρων.

Κατά τη συγκομιδή λήφθηκαν δείγματα για την εκτίμηση της ποιότητας των καρπών. Συνολικά λήφθηκαν 55 δείγματα που το καθένα αποτελούνταν από έξι καρπούς. Για την εκτίμηση των ποιοτικών χαρακτηριστικών των καρπών μετρηθήκαν τα εξής :

1. Μέσο βάρος καρπού σε g

2. Χρώμα φλοιού του καρπού. Η μέτρηση έγινε με χρωματόμετρο Hunter LAB, model Miniscan XE plus. Πραγματοποιήθηκαν 4 μετρήσεις στον ισημερινό του κάθε καρπού για τις παραμέτρους L*, a* και b*, και υπολογίστηκε ο μέσος όρος .

3. Σκληρότητα της σάρκας του καρπού σε N. Η μέτρηση πραγματοποιήθηκε μετά από αφαίρεση του φλοιού με πενετρόμετρο Effegi με έμβολο διαμέτρου 11mm

4. Διαλυτά στερεά (ΔΣΣ) του χυμού των μήλων (%) με διαθλασίμετρο Carl Zeiss Jena

5. pH του χυμού με πεχάμετρο

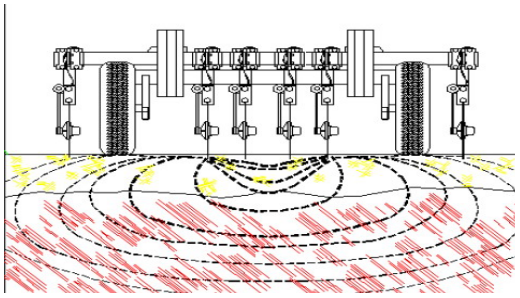
6. Οξύτητα του χυμού, με τιτλοδότηση χυμού με 0.1 N NaOH μέχρι pH=8,2 και υπολογισμό της οξύτητας σε (%) περιεκτικότητα σε μηλικό οξύ.

Οι συντεταγμένες των θέσεων των δειγμάτων ποιότητας καταγράφηκαν για να είναι δυνατή η δημιουργία των χαρτών ποιότητας.

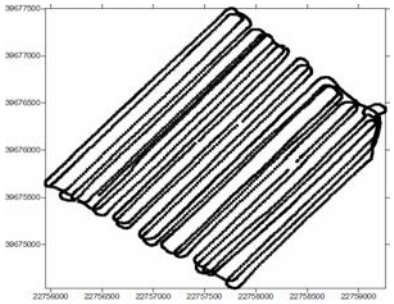
Η ηλεκτρική αγωγιμότητα (ECa) του εδάφους μετρήθηκε με το Veris 3100 (Εικόνα 2) σε δυο διαφορετικά βάθη (0-30 cm & 0-90 cm). Η ηλεκτρική αγωγιμότητα μπορεί να μετρηθεί με τη δημιουργία διαφοράς δυναμικού στο έδαφος. Ένα ζεύγος ηλεκτροδίων εκπέμπει ηλεκτρικό ρεύμα στο έδαφος και ένα εξωτερικό ζεύγος ηλεκτροδίων μετράει την πτώση του δυναμικού. και μετρώντας τη. Η μέθοδος αυτή ονομάζεται σύνθεση τεσσάρων ηλεκτροδίων (four-electrode configuration) και αρχικά προτάθηκε από τον Wenner το 1915.

Το Veris (Σχήμα 1) είναι μια συσκευή μέτρησης της ηλεκτρικής αγωγιμότητας η οποία βασίζεται στην εικονιζόμενη διάταξη. Το Veris είναι μια διάταξη που αποτελείται από 6 δίσκους (3 ζεύγη) οι οποίοι έρχονται σε επαφή με το έδαφος και δρουν ως ηλεκτρόδια. Το εσωτερικό ζεύγος δίσκων έχει αρνητικό φορτίο, ενώ τα αλλά δυο ζεύγη καταγράφουν το ηλεκτρικό πεδίο σε διαφορετικές αποστάσεις και άρα την αγωγιμότητα σε δυο διαφορετικά βάθη, 0-30 εκ. και 0-90 εκ. Το όλο σύστημα είναι ρυμουλκόμενο από γεωργικό ελκυστήρα και περιλαμβάνει και έναν δέκτη GPS τοποθετημένο στον ελκυστήρα ώστε να καταγράφεται το σημείο της κάθε μέτρησης στην κεντρική μονάδα, που βρίσκεται στην καμπίνα του οχήματος. Το σύστημα καταγράφει μια μέτρηση ανά

δευτερόλεπτο και μπορεί να κινηθεί με ταχύτητες 5 έως 20 χλμ/ώρα σε παράλληλες διαδρομές απόστασης από 4 εως 15 μέτρα (Σχήμα 2). Οι μετρήσεις της ηλεκτρικής αγωγιμότητας καθώς και το στίγμα από το GPS μεταφέρονται από την κεντρική κονσόλα σε μια δισκέτα και έπειτα μπορούν να μεταφερθούν σε ηλεκτρονικό υπολογιστή όπου με τη βοήθεια του κατάλληλου λογισμικού μπορούν να μετατραπούν σε ψηφιακό χάρτη. Από τα δεδομένα δημιουργήθηκαν χάρτες παραγωγής, ποιοτικών χαρακτηριστικών και χάρτες ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους. Οι χάρτες δημιουργήθηκαν με το λογισμικό Surfer®.



Σχήμα7. Το VERIS 3100. Εμφανείς είναι οι δίσκοι του



Σχήμα 2. Η πορεία του VERIS στον οπωρώνα

Στη συνέχεια έγινε προσπάθεια να καθοριστούν ζώνες διαχείρισης στον πειραματικό αγρό με το λογισμικό MZA (Management Zone Analyst) το οποίο χρησιμοποιεί τον αλγόριθμο fuzzy k-means, που στηρίζεται στην ασαφή συσταδοποίηση. [3]

Τα δεδομένα που χρησιμοποιηθήκαν για τον καθορισμό των ζωνών διαχείρισης ήταν τα εξής: παραγωγή, ποιοτικά χαρακτηριστικά (οξύτητα, διαλυτά στερεά συστατικά, σκληρότητα σάρκας και βάρος καρπού) και ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Στον πίνακα 1 φαίνονται τα περιγραφικά στατιστικά (ελάχιστη, μέγιστη, μέση τιμή και συντελεστής παραλλακτικότητας (CV)) των μετρούμενων μεγεθών. Παρατηρούμε ότι η παραγωγή είχε μεγάλο εύρος τιμών (από 2, 6 έως 8,5 τον/στρ) και υψηλό συντελεστή παραλλακτικότητας 43%. Τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των καρπών έδειξαν μικρότερη παραλλακτικότητα με συντελεστές παραλλακτικότητας από 5% για την σκληρότητα σάρκας και τα διαλυτά στερεά συστατικά, 10% για το βάρος καρπού και 13% για την οξύτητα χυμού και την περιεκτικότητα του χυμού σε μηλικό οξύ.
Οι χάρτες παραγωγής φαίνονται στους παρακάτω πίνακες, και πιο συγκεκριμένα χάρτης παραγωγής (Σχήμα 3), ηλεκτρικής αγωγιμότητας (Σχήμα 4), βάρος καρπού (Σχήμα 5), μηλικού οξέος (Σχήμα 6) και διαλυτών στερεών συστατικών (Σχήμα 7). Οι συντεταγμένες στα σχήματα 3,5,6 και 7 είναι σχετικές, ενώ στο Σχήμα 4 είναι μονάδες UTM.

3.1 Ζώνες παραγωγής

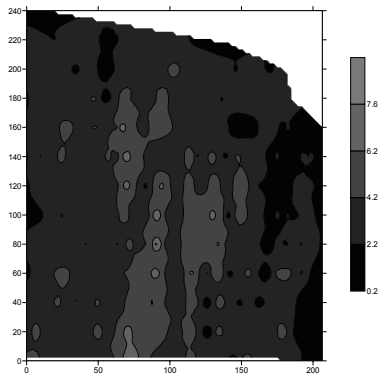
Στα σχήματα 8, 9, 10 βλέπουμε πως καθοριστήκαν οι ζώνες διαχείρισης του οπωρώνα με βάση την παραγωγή (Σχήμα 8), την ηλεκτρική αγωγιμότητα (Σχήμα 9) και τα ποιοτικά χαρακτηριστικά (συνδυασμός όλων των ποιοτικών χαρακτηριστικών) (Σχήμα 10). Όπως φαίνεται για κάθε περίπτωση προκύπτουν

διαφορετικές ζώνες κάτι που δεν επιτρέπει να καταλήξουμε σε συμπέρασμα όσον αφορά τον κατάλληλο αριθμό κλάσεων.

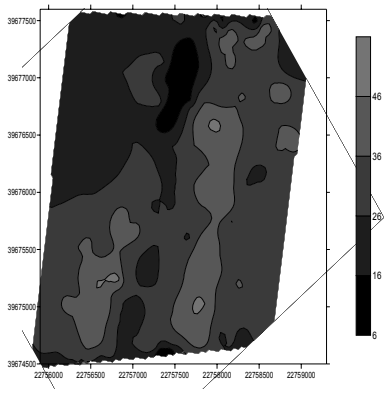
Ο αριθμός των ζωνών διαχείρισης καθορίστηκε με βάση τους δείκτες FPI (fuzziness performance index) και NCE (normalized classification entropy) αλλά και με κριτήριο την ευκολία δημιουργίας τους.

Πίνακας 1. Περιγραφικά στατιστικά των μετρούμενων μεγεθών

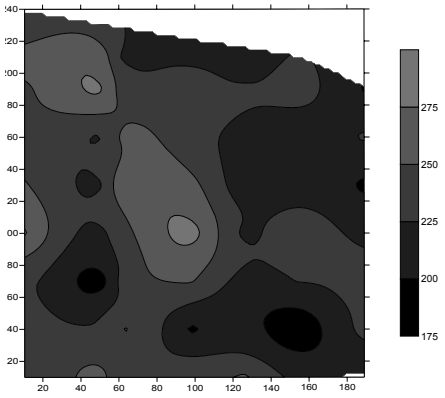
Μετρούμενο μέγεθος	Ελάχιστη τιμή	Μέγιστη τιμή	Μέση τιμή	CV (%)
Παραγωγή (τόννοι/στρ)	0,26	8,50	3,40	43,49
Βάρος καρπού (g)	178	286	232,6	10,13
Σκληρότητα Σάρκας (N)	62,4	79,4	71,7	5,57
ΔΣΣ (%)	12,8	16,3	14,8	5,24
Μηλικό οξύ (%)	0,167	0,322	0,238	13,40
ECa (0-30 cm)	5,1	59,5	29,4	29,71
ECa (0-90 cm)	5	91	32,9	35,15



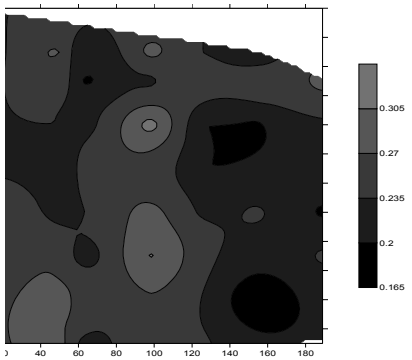
Σχήμα 3. Χάρτης Παραγωγής σε Kg/στρ.



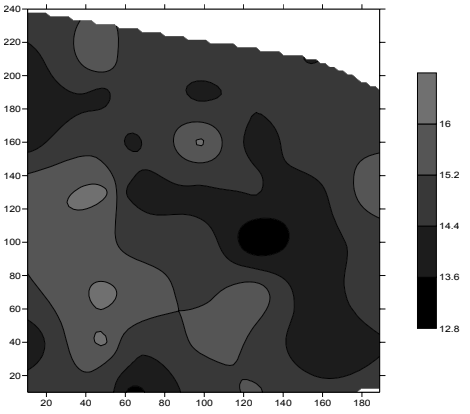
Σχήμα 4. Χάρτης ηλεκτρικής αγωγιμότητας



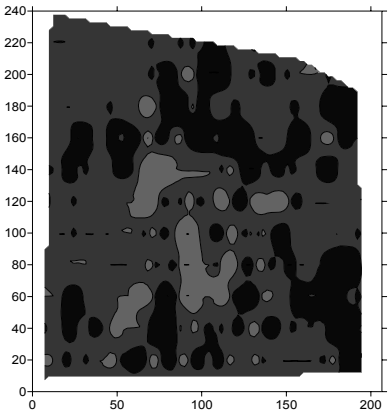
Σχήμα 5. Χάρτης βάρους καρπούς σε g



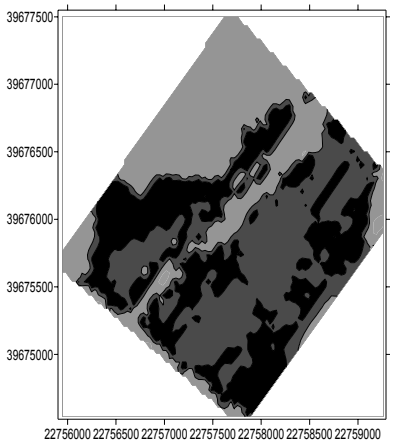
Σχήμα 6. Χάρτης μηλικού οξέος



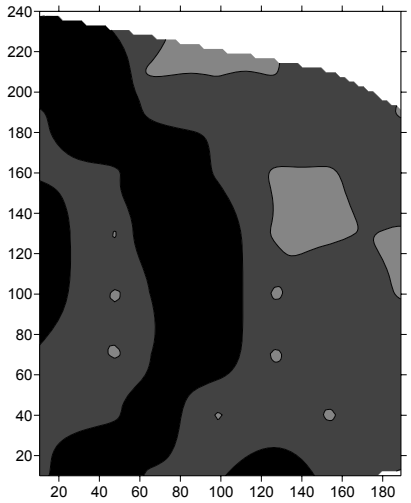
Σχήμα 7. Χάρτης Διαλυτών Στερεών



Σχήμα 8. Ζώνες με βάση τη παραγωγή



Σχήμα 9. Ζώνες με βάση την ECa



Σχήμα 10. Ζώνες διαχείρισης με βάση τα ποιοτικά χαρακτηριστικά

Ο δείκτης FPI δείχνει τον βαθμό διαχωρισμού των κλάσεων και παίρνει τιμές από 0 έως 1. Καθώς οι τιμές του FPI πλησιάζουν στο 0 δείχνουν ευδιάκριτες κλάσεις ενώ όταν οι τιμές πλησιάζουν το 1 οι κλάσεις δεν είναι ευδιάκριτες και ένα σημείο του αγρού μπορεί να ανήκει σε παραπάνω από μία κλάσεις.

Ο δείκτης NCE παίρνει επίσης τιμές από 0 έως 1 και κάνει εκτίμηση του ποσοστού της ασάφειας που δημιουργείται από ένα ορισμένο αριθμό κλάσεων. Όταν ο NCE παίρνει τιμές κοντά στο 1 επικρατεί ασάφεια ενώ όταν παίρνει τιμές κοντά στο 0 επικρατεί καλύτερη οργάνωση. Όταν και οι δύο δείκτες έχουν ελάχιστη τιμή τότε έχουμε τον άριστο αριθμό κλάσεων.

Κανονικά έπρεπε να καθοριστούν ζώνες που είχαν το χαμηλότερο FPI. Αυτές ήταν 6 ζώνες με βάση το μηλικό οξύ. Στην πράξη όμως είναι κάπως δύσκολο να ορισθούν 6 ζώνες διαχείρισης σε έναν οπωρώνα 50 στρεμμάτων. Έτσι επιλέχθηκε η διαμόρφωση ζωνών με τα ποιοτικά χαρακτηριστικά που έχουν σχετικά χαμηλό FPI και NCE.

Επίσης καθορίσθηκαν ζώνες με βάση τη παραγωγή και την ηλεκτρική αγωγιμότητα. Δεν έχουμε ξεχωρίσει ποιος καθορισμός ζωνών είναι καλύτερος. Ανάλογα με τις απαιτήσεις μας μπορούμε να επιλέξουμε.

Στον Πίνακα 2 φαίνονται οι δείκτες FPI και NCE για κάθε αριθμό κλάσεων για τις παραμέτρους ηλ.αγωγιμότητα σε βάθος 0-90 εκ., παραγωγή και ποιοτικά χαρακτηριστικά. Οι παράμετροι που θα βοηθήσουν περισσότερο στη δημιουργία ζωνών διαχείρισης, δεν είναι σταθεροί και εξαρτώνται από ποια ιδιότητα είναι περισσότερο επιθυμητή για τη διαχείριση.

Από τα σχήματα 8, 9 και 10 φαίνεται ότι οι ζώνες διαχείρισης είναι διαφορετικές με βάση την παραγωγή, την ηλεκτρική αγωγιμότητα και τα ποιοτικά χαρακτηριστικά. Η ανάλυση των δεδομένων θα συνεχιστεί κάνοντας τις συσχετίσεις μεταξύ των παραμέτρων που χρησιμοποιήθηκαν για την δημιουργία των ζωνών διαχείρισης. Λαμβάνοντας υπόψη τα αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης και την εμπειρία του παραγωγού σε σχέση με τα χαρακτηριστικά του αγρού θα καθοριστούν οι ζώνες διαχείρισης του οπωρώνα.

Πίνακας 2. Δείκτες FPI και NCE για όλες τις παραμέτρους που μετρήθηκαν

	ECa 0-90		Παραγωγή		Ποιότητα	
Ζώνες	**FPI**	**NCE**	**FPI**	**NCE**	**FPI**	**NCE**
2	0,0362	0,0131	0,0347	0,0144	0,0289	0,0122
3	0,0358	0,0172	0,0203	0,0126	0,0146	0,0090
4	0,0413	0,0223	0,0150	0,0100	0,0360	0,0200
5	0,0419	0,0240	0,0126	0,0106	0,0183	0,0123
6	0,039	0,0234	0,0066	0,0059	0,0109	0,0082

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τα αποτελέσματα της παραπάνω εργασίας καταλήγουμε στα παρακάτω συμπεράσματα:

1. Ο οπωρώνας έδειξε σημαντική παραλλακτικότητα στο έδαφος, στην παραγωγή, και στα ποιοτικά χαρακτηριστικά των καρπών. Η ύπαρξη αυτής της παραλλακτικότητας δείχνει ότι ο αγρός είναι δυνατόν να χωριστεί σε διαφορετικές ζώνες διαχείρισης, όπου μπορούν να εφαρμοστούν μεταβλητές καλλιεργητικές φροντίδες σε κάθε ζώνη.
2. Η ανάλυση έδειξε ο άριστος αριθμός ζωνών διαχείρισης στις οποίες μπορεί να χωριστεί ο οπωρώνας είναι πέντε ή έξι, αλλά για την δημιουργία του τελικού χάρτη χρησιμοποιήθηκαν τρεις κλάσεις διότι είναι πιο εύκολο να πραγματοποιηθεί διαχείριση του αγρού σε τρεις ζώνες.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Earl R., Wheeler P. N., Blackmore B. S., Godwin R. J. 1996. Precision Farming-the Management of Variability. Landwards, 51(4): 18-23.
2. Kitchen, N.R., Sudduth,K.A., Myers, D.B., Drummond, S.T., Hong, S.Y., (2005). Delineating productivity zones on claypan soil fields apparent soil electrical conductivity. Computers and Electronics in Agriculture, 46: 285-308.
3. Fridgen, J.J., Kitchen, N.R., Sudduth, K. A., Drummond, S.T., Wiebold, W.J. and Fraisse C.W. 2004. Management Zone Analyst (MZA).Software for Subfield Management Zone Delineation. *Agronomy Journal* 96**:** 100-108.

(206)

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΕΚΤΕΛΕΣΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ ΚΟΠΗΣ ΧΟΡΤΟΥ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΑΥΤΟΝΟΜΟΥ ΕΛΚΥΣΤΗΡΑ

Δ. Μπόχτης[1], H.W. Griepentrog[2], Σ. Βουγιούκας[1], N.A. Andersen[3]
[1]Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Γεωπονική Σχολή, Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας, Θυρίδα 275, 54124, Θεσ/νίκη, dionmpo@agro.auth.gr
[2] University of Copenhagen, Faculty of Life Sciences, Dep. of Agricultural Sciences, 2630 Taastrup, Denmark, hwg@kvl.dk
[3] DTU, Technical University of Denmark, Dep. of Automation, 2800 Kgs. Lyngby, Denmark, naa@oestern.dtu.dk

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται η εκτέλεση εργασιών κοπής χόρτου με τη χρήση αυτόνομου ελκυστήρα. Η κάλυψη της επιφάνειας του αγρού έγινε ακολουθώντας όλους τους αγρονομικούς περιορισμούς των γεωργικών κατεργασιών με τη διαφοροποίηση ότι η ακολουθία των διαδρομών στις οποίες εργάζεται ο ελκυστήρας ελαχιστοποιεί το συνολικό μήκος των νεκρών διαδρομών. Τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν σε εκτάσεις του αγροκτήματος του Πανεπιστημίου της Κοπεγχάγης. Βάση των αποτελεσμάτων επιτεύχθηκε μείωση της τάξης του 40% του μη παραγωγικού χρόνου του ελκυστήρα.

MISSION PLANNING OF AN AUTONOMOUS TRACTOR FOR MOWING

D. Bochtis[1], H.W. Griepentrog[2], S. Vougioukas[1], N.A. Andersen[3]
[1] Aristotle University of Thessaloniki, Sch. of Agriculture, Department of Agriculture Engineering, box 275, 54124, Thessaloniki, dionmpo@agro.auth.gr
[2] University of Copenhagen, Faculty of Life Sciences, Dep. of Agricultural Sciences, 2630 Taastrup, Denmark, hwg@kvl.dk
[3] DTU, Technical University of Denmark, Dep. of Automation, 2800 Kgs. Lyngby, Denmark, naa@oestern.dtu.dk

ABSTRACT

In this paper the mowing operation using an autonomous tractor is presented. For the planning of the tractor's motion sequence, a new innovative optimization method was used that minimizes the non-working travelled distance during the turnings at the headlands. The experiments took place at the farm of the University of Copenhagen. Based on the results, the dead distance savings are in the order of 40%.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ένα από τα σημαντικότερα δυνητικά πλεονεκτήματα ενός αυτόνομου ελκυστήρα, είναι η δυνατότητα εκτέλεσης κινήσεων οι οποίες ξεπερνούν τις δυνατότητες ενός οδηγού σε ένα συμβατικό ελκυστήρα. Για ένα αυτόνομο όχημα που διαθέτει δυνατότητα προσδιορισμού της απόλυτης θέσης του, η μετάβαση μεταξύ δυο σημείων απαιτεί απλά την είσοδο των συντεταγμένων των δύο αυτών σημείων. Αντίθετα, σε ένα συμβατικό υπάρχει η αναγκαιότητα μιας ορατής από τον οδηγό διαδρομής, που να ενώνει τα δύο σημεία. Επίσης, κατά την πραγματοποίηση ελιγμών στα όρια των κινηματικών περιορισμών του οχήματος, η ακρίβεια εκτέλεσης στον επανδρωμένο ελκυστήρα εναπόκεινται στην επιδεξιότητα του οδηγού ενώ στην περίπτωση του αυτόνομου ελκυστήρα υπάρχει μια σχεδόν «τυποποιημένη» επαναλαμβανόμενη ακρίβεια.

Οι δύο παραπάνω διαφοροποιήσεις των αυτόνομων ελκυστήρων έναντι των επανδρωμένων, καθιστούν για τους πρώτους δυνατή την εκτέλεση αγροτικών εργασιών με παρακολούθηση διαδρομών, που παρόλο ότι βελτιστοποιούν την απόδοση του, είναι αδύνατο να εκτελεστούν από έναν οδηγό ή στην καλύτερη περίπτωση απαιτούν ειδική τεχνική υποστήριξη του.

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται η εκτέλεση εργασιών κοπής χόρτου με τη χρήση του αυτόνομου ελκυστήρα Hako Hakotract 3000. Στις εργασίες αυτές η κάλυψη της επιφάνειας του αγρού έγινε ακολουθώντας διαδρομές βελτιστοποιημένες ως προς τις νεκρές διαδρομές του ελκυστήρα. Τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν σε εκτάσεις του αγροκτήματος του Πανεπιστημίου της Κοπεγχάγης. Η σχεδίαση των διαδρομών κάλυψης της επιφάνειας, ακολουθεί όλους τους αγρονομικούς περιορισμούς των γεωργικών κατεργασιών. Η διαφοροποίηση βρίσκεται στην εκτέλεση των ελιγμών του ελκυστήρα.

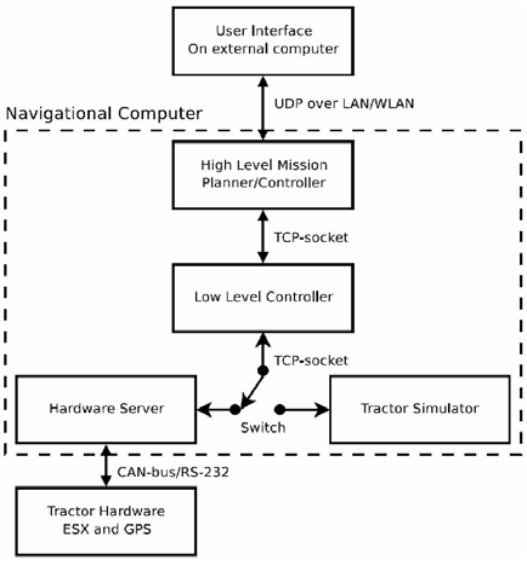
Η επιλογή της συγκεκριμένης γεωργικής εργασίας για την εφαρμογή της μεθόδου της βελτιστοποιημένης ακολουθίας διαδρομών, βασίστηκε σε μελέτες που έχουν δείξει πως η επαναλαμβανόμενη εργασία κοπής χόρτου είναι μια από τις πιο πολλά υποσχόμενες προς αυτοματοποίηση εργασία, από άποψη μείωσης του κόστους εκτέλεσης της [1].

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1. Ο Αυτόνομος Γεωργικός Ελκυστήρας

Η βάση πάνω στην οποία αναπτύχθηκε ο αυτόνομος ελκυστήρας είναι ο εμπορικός ελκυστήρας Hakotrac 3000. Η ισχύς του είναι 20 kW. Το σύστημα ελέγχου έχει αναπτυχθεί από το τμήμα αυτοματισμών του Technical University of Denmark (DTU). Ο έλεγχος της στροφής του ελκυστήρα, των στροφών της μηχανής, της ταχύτητας μετακίνησης, του άξονα μετάδοσης κίνησης (PTO), και της ανάρτησης τριών σημείων επιτυγχάνεται μέσω ενός βιομηχανικού μικρο-ελεγκτή (ESX). Το σύστημα ESX είναι υπεύθυνο για την ανάγνωση των δεδομένων των αισθητήρων και για τον έλεγχο των γραμμικών ενεργοποιητών του συστήματος [2]. Διαθέτει CAN-bus interface (Controller Area Network) για τον εξωτερικό έλεγχο των προαναφερθέντων παραμέτρων.

Σχήμα 1. Ο αυτόνομος ελκυστήρας.



Σχήμα 2. Η δομή και η συνδεσιμότητα του συστήματος [7].

Όσον αφορά το σύστημα πλοήγησης του ελκυστήρα, συνδυάζει τις δύο γενικές προσεγγίσεις των αυτόνομων οχημάτων για γεωργικές εφαρμογές. Η πρώτη προσέγγιση χρησιμοποιεί αισθητήρες από τους οποίους προκύπτει η απόλυτη θέση του οχήματος, όπως συσκευές GPS [3]. Στην περίπτωση αυτή το όχημα ακολουθεί μια προκαθορισμένη τροχιά δοσμένη σε ένα απόλυτο σύστημα συντεταγμένων. Βασικό μειονέκτημα αυτής της προσέγγισης είναι η αδυναμία του συστήματος να αντιδράσει σε μια αναπάντεχη αλλαγή του περιβάλλοντος πχ. στην περίπτωση ενός κινούμενου εμποδίου.

Στη δεύτερη προσέγγιση η πλοήγηση του οχήματος βασίζεται στον προσδιορισμό της σχετικής του θέσης. Στην περίπτωση αυτή η διαδρομή του οχήματος καθορίζεται σε ένα σχετικό σύστημα αναφοράς. Για παράδειγμα η θέση του οχήματος προσδιορίζεται σε σχέση με τη θέση μεμονωμένων φυτών ή σειρών γραμμικής καλλιέργειας μέσω της

αξιοποίησης των πληροφοριών που προέρχονται είτε από οπτικούς αισθητήρες (κάμερες) είτε από μη οπτικούς (οδόμετρα, γυροσκόπια, επιταχυνσιόμετρα κ.α.) [4]. Η προσέγγιση αυτή εμπεριέχει ένα πιο ενεργό τρόπο πλοήγησης μια και τα απρόβλεπτα γεγονότα μπορούν να γίνουν αντιληπτά και να αντιμετωπιστούν. Βασικό μειονέκτημα των συστημάτων αυτών είναι οι περιορισμοί των συνθηκών κάτω από τις οποίες μπορούν να λειτουργήσουν με ασφαλή ακρίβεια οι διάφοροι αισθητήρες. Για παράδειγμα μια κάμερα λειτουργεί κάτω από ορισμένες συνθήκες φωτισμού.

Με τη σύνθεση των δύο παραπάνω προσεγγίσεων μπορεί να προκύψει ένα πολύ πιο αξιόπιστο σύστημα. Υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός από συνδυασμούς αισθητήρων που έχουν εφαρμοστεί σε αυτόνομα γεωργικά οχήματα [5], [6]. Το σύστημα που παρουσιάζεται σε αυτή την εργασία χρησιμοποιεί το συνδυασμό του υψηλής ακρίβειας κινηματικού GPS Trimble MS750 Real Time Kinematic και ενός οδομέτρου για τη διόρθωση των βραχυπρόθεσμων σφαλμάτων του GPS.

Η αρχιτεκτονική του συστήματος παρουσιάζεται στο *Σχήμα 2*.

2.2. Σχεδιασμός Αποστολής

Η είσοδος της αποστολής του οχήματος γίνεται με τη χρήση αρχείου γραμμένου στη γλώσσα eXtendible Markup Language (XML) (IEEE standard). Το αρχείο αυτό περιέχει έναν αριθμό από σημεία τα οποία περιγράφονται από τις UTM συντεταγμένες τους και μια λίστα για κάθε σημείο το οποίο περιέχει τις εντολές των ενεργειών που πρέπει να εκτελεστούν μόλις ο ελκυστήρας φτάσει σε αυτό το σημείο. Οι εντολές αυτές περιλαμβάνουν τον τύπο του ελιγμού (Ω-στροφή ή Τ-στροφή) που πρέπει να εκτελέσει ο ελκυστήρας προκειμένου να προσεγγίσει το επόμενο σημείο της αποστολής, την ταχύτητα και την επιτάχυνση της κίνησης του μέχρι το επόμενο σημείο, την εντολή της σύμπλεξης ή της αποσύμπλεξης του PTO, την εντολή της ανύψωσης ή του κατεβάσματος του φερόμενου μηχανήματος κτλ.

```
<mission>
        <log .../>
        <kalmaninit .../>
        <route>
                <point .../>
                <point .../>
                ...
        </route>

        <field>
                <point .../>
                <point .../>
                ...
        </field>
</mission>
```

```
<point>
        utme="708110.1"
        utmn="6174202.2"
        speed = "1.5"
        acc = "0.5"
        pause="5"
        tool="70"
        power="on"
        turn="omega"
/>
```

Σχήμα 3. Η δομή των XML αρχείων [7].

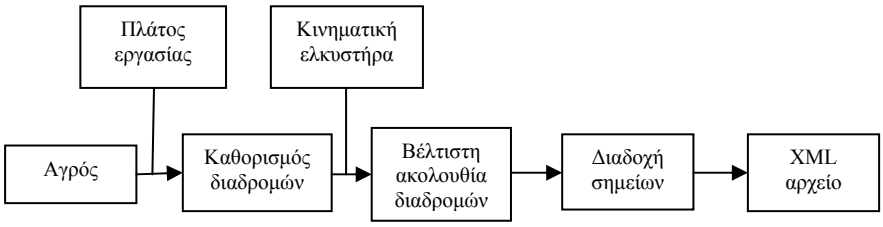
Για απλές πειραματικές εφαρμογές η δημιουργία ενός τέτοιου αρχείου μπορεί να βασιστεί πάνω σε τυποποιημένα πρότυπα ή απλά σε τροποποιήσεις παλαιοτέρων αρχείων. Για την εκτέλεση όμως μιας πραγματικού μεγέθους εργασίας αυτό θα έπρεπε να γίνεται αυτοματοποιημένα. Επιπλέον, στη διαδικασία της δημιουργίας του αρχείου θα πρέπει να περιλαμβάνεται και ο αλγόριθμος της βελτιστοποίησης.

Για τους λόγους αυτούς αναπτύχτηκε κώδικας στην τεχνική γλώσσα προγραμματισμού MATLAB μέσω του οποίο εισόδους τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του αγρού, το πλάτος εργασίας και την ελάχιστη γωνία στροφής του ελκυστήρα, παράγει ένα αρχείο XML με την αποστολή του αυτόνομου ελκυστήρα (*Σχήμα 4*).

Με αρχική είσοδο τη γεωμετρία του αγρού, ο κώδικας αρχικά καθορίζει τις διαδρομές (όχι την ακολουθία τους) από τις οποίες θα πρέπει να περάσει ο ελκυστήρας ώστε να ολοκληρωθεί η κοπή του χόρτου χωρίς κενά στην κοπή ή επικαλύψεις. Στις

εφαρμογές της παρούσας εργασίας όλες οι διαδρομές είναι ευθείες. Συνεπώς, για τον προσδιορισμό κάθε διαδρομής αρκούν μόνο δύο σημεία που αντιστοιχούν στα δυο άκρα της.

Η βελτιστοποίηση του σχεδιασμού της αποστολής βασίζεται στη μέθοδο που παρουσιάζεται στην εργασία [8]. Σύμφωνα με αυτή τη μέθοδο κάθε διαδρομή αντιστοιχίζεται με έναν κόμβο και δημιουργείται ο γράφος του προβλήματος. Σε κάθε τόξο που ενώνει δύο κόμβους αντιστοιχείται ένα κόστος το οποίο είναι ίσο με το μήκος της διαδρομής του ελιγμού που πρέπει να εκτελέσει ο ελκυστήρας για τη μετάβαση του από το τέλος της διαδρομής που αντιστοιχεί στον έναν κόμβο στην αρχή της διαδρομής που αντιστοιχεί στο δεύτερο. Το μήκος αυτό υπολογίζεται με βάση την ελάχιστη γωνία στροφής του ελκυστήρα και την τοπική γεωμετρία του χωραφιού (ελεύθερος χώρος για ελιγμούς, παρουσία εμποδίων ή γενικά απροσπέλαστων περιοχών κτλ.) [9]. Στην εργασία [8] το πρόβλημα αναφέρεται σε αριθμό γεωργικών οχημάτων που εργάζονται ταυτόχρονα και είναι μοντελοποιημένο ως πρόβλημα δυαδικού (0-1) προγραμματισμού ακεραίων μεταβλητών και για την επίλυσή του χρησιμοποιούνται ευρετικοί αλγόριθμοι. Η περίπτωση που παρουσιάζεται εδώ είναι περιορισμός του προβλήματος για ένα όχημα. Ο αλγόριθμος που χρησιμοποιείται για την επίλυση του προβλήματος (περιλαμβάνεται στη MATLAB), βασίζεται στην τεχνική branch-and-bound και για τον περιορισμό του προβλήματος στο ένα όχημα, δίνει λύσεις σε ικανοποιητικό χρόνο.



Σχήμα 4. Η δομή του προγράμματος παραγωγής XML αρχείων

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν σε εκτάσεις του αγροκτήματος του Πανεπιστημίου της Κοπεγχάγης τον Απρίλιο του 2007. Πρέπει να τονιστεί ότι ο αλγόριθμος που χρησιμοποιείται για την βελτιστοποίηση μπορεί να λύσει προβλήματα με εκατοντάδες διαδρομές μέσα σε λογικό χρονικό διάστημα (της τάξης των λεπτών). Παρουσιάζονται όμως πειραματικές κατεργασίες με μικρό σχετικά αριθμό διαδρομών για να είναι ευκρινής η παρουσίαση τους.

Στο *Σχήμα 5* παρουσιάζονται 3 ζεύγη κατεργασιών (παραδοσιακής κατεργασίας και βέλτιστων διαδρομών αντίστοιχα) για αγροτεμάχια 20, 30 και 40 διαδρομών.

Θέτοντας αυθαίρετα ως φορά αρίθμησης των διαδρομών την φορά Δύση-Ανατολή, οι διαδοχές των διαδρομών για τις κατεργασίες του σχήματος 5 είναι:

20 διαδρομές: <3 8 13 18 14 19 15 20 16 9 4 10 5 1 6 11 17 12 7 2>.

30 διαδρομές:< 2 7 3 8 4 9 14 19 24 29 25 30 26 20 15 10 5 11 16 21 27 22 28 23 18 13 17 12 6 1>.

40 διαδρομές:< 2 7 3 8 4 9 14 19 24 29 34 39 35 40 36 31 26 21 27 22 16 11 5 10 15 20 25 30 37 32 38 33 28 23 18 13 17 12 6 1>.

Στον *Πίνακα 1* παρουσιάζονται τα στοιχεία από τις συγκρίσεις των δύο μεθόδων. Όπως προκύπτει από τα αποτελέσματα η μείωση τόσο της νεκρής διαδρομής όσο και του μη παραγωγικού χρόνου, είναι της τάξης του 40%.

Η μέθοδος της βελτιστοποίησης δεν περιορίζεται μόνο στην περίπτωση ορθογώνιων αγροτεμαχίων. Στο *Σχήμα 6 (α)* παρουσιάζεται η εργασία κοπής σε αγροτεμάχιο που αποτελείται από δύο τμήματα εκ των οποίων το ένα έχει μικρότερα μήκη διαδρομών. Ο συνολικός αριθμός των διαδρομών είναι 12 (6 σε κάθε τμήμα). Η μοντελοποίηση του προβλήματος παραμένει η ίδια. Αυτό που αλλάζει είναι ο πίνακας κόστους του προβλήματος της βελτιστοποίησης. Στο συγκεκριμένο πρόβλημα έχει προστεθεί ο περιορισμός του εμποδίου μπροστά από το μικρό τμήμα του αγροτεμαχίου. Αυτό σημαίνει ότι ο ελκυστήρας δεν μπορεί να εισέλθει ή να εξέλθει προς και από τον αγρό στην αρχή και στο τέλος της εργασίας του αντίστοιχα. Επίσης στο πρόβλημα της βελτιστοποίησης έχει ληφθεί υπόψη ότι ο ελκυστήρας έρχεται πριν την εργασία του από την ανατολική πλευρά του αγροτεμαχίου και ο προορισμός του μετά το πέρας της εργασίας βρίσκεται επίσης προς την ανατολική πλευρά. Η λύση που προκύπτει είναι η ακολουθία διαδρομών: <1 5 10 4 9 12 8 3 7 11 6 2>. Όπως διαπιστώνεται ο ελκυστήρας μεταβαίνει από το ένα τμήμα του αγροτεμαχίου στο άλλο χωρίς να ολοκληρώσει χωριστά την κατεργασία σε καθένα από αυτά.

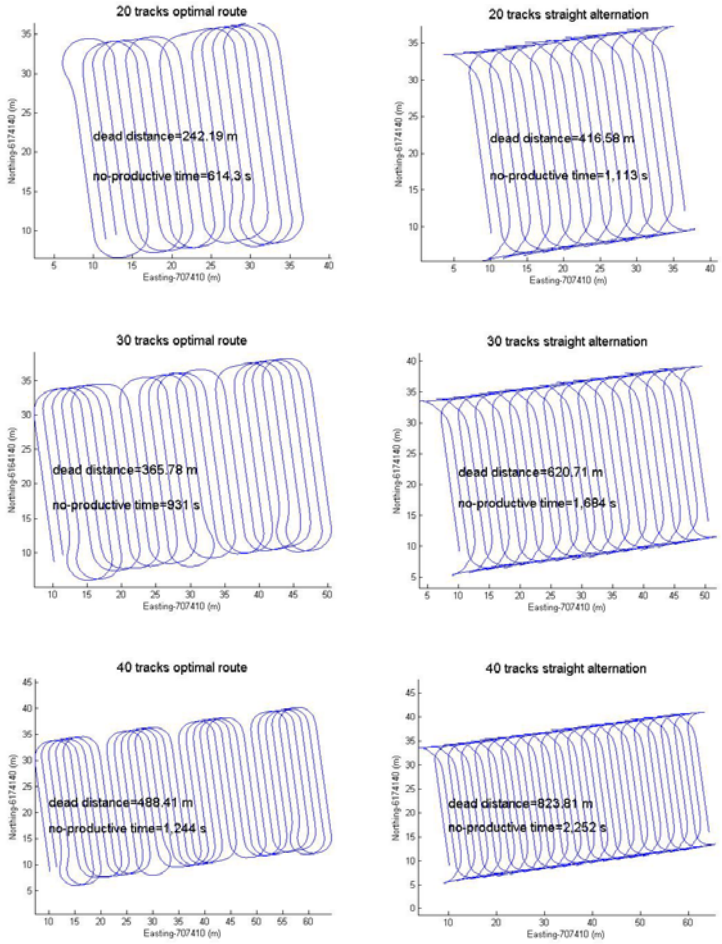
Στο *Σχήμα 6 (β)* παρουσιάζεται η περίπτωση ενός αγροτεμαχίου σχήματος τραπεζίου.

Πίνακας 1. Σύγκριση των παραδοσιακών συστημάτων κατεργασίας με τα συστήματα βέλτιστων διαδρομών.

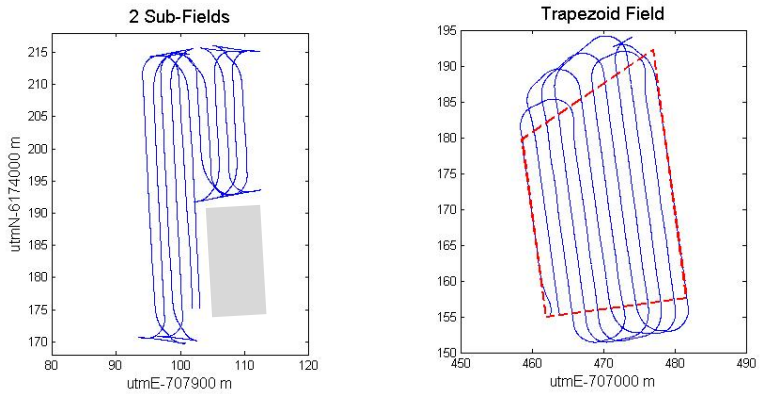
	Τύπος πορείας	**Νεκρή Διαδρομή (m)**	**Μείωση νεκρής διαδρομής (%)**	**Μη παραγωγικός χρόνος (s)**	**Μείωση μη παραγωγικού χρόνου (%)**
20 Διαδρομές (1)	Διαδοχικές διαδρομές	416,58	**41.86**	1,113	**44.83**
	Βέλτιστη ακολουθία	242,19		614	
30 Διαδρομές (2)	Διαδοχικές διαδρομές	620,71	**41.07**	1,684	**44.71**
	Βέλτιστη ακολουθία	365,78		931	
40 Διαδρομές (3)	Διαδοχικές διαδρομές	823,81	**40.71**	2,252	**44.76**
	Βέλτιστη	488,41		1,244	

(1) 20 x 1.4 m = 28 m (2) 30 x 1.4 m = 42 m (3) 40 x 1.4 m = 56 m πλάτος αγρού.

Στο *Σχήμα 7* παρουσιάζεται η εργασία κοπής χόρτου μεταξύ των σειρών δέντρων ενός οπωρώνα. Στη συγκεκριμένη περίπτωση οι σειρές των δέντρων αποτελούν εμπόδια στο εσωτερικό του αγρού και μεταβάλουν το πρόβλημα ως προς το μήκος των ελιγμών.

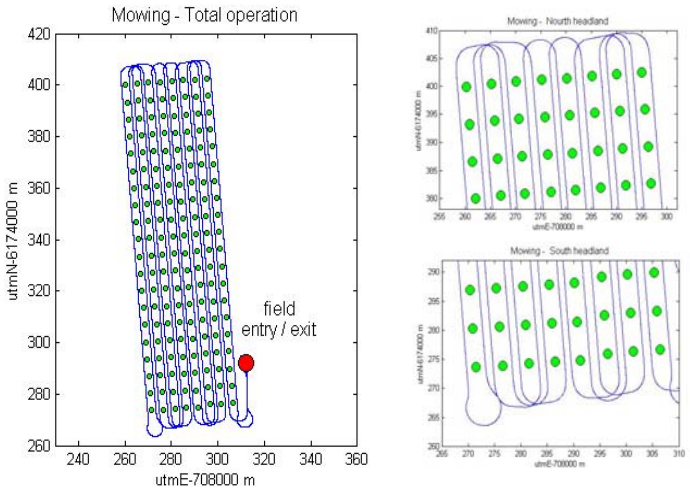


Σχήμα 5. Κατεργασίες ακολουθώντας το παραδοσιακό σύστημα και το σύστημα βέλτιστων διαδρομών αντίστοιχα.



(α) (β)

Σχήμα 6. Κατεργασία κοπής (α) σε αγρό δύο τμημάτων (β) σε τραπεζοειδή αγρό



Σχήμα 5. Κατεργασία κοπής μεταξύ σειρών δέντρων οπωρώνα.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην εργασία αυτή παρουσιάστηκαν αποτελέσματα από την εφαρμογή λογισμικού βελτιστοποίησης της εκτέλεσης γεωργικών εργασιών σε αυτόνομο ελκυστήρα. Βάση των αποτελεσμάτων επιτεύχθηκε μείωση του μη παραγωγικού χρόνου του ελκυστήρα της τάξης του 40%. Τα αποτελέσματα είναι εξαιρετικά ενθαρρυντικά τόσο για την εφαρμογή του λογισμικού βελτιστοποίησης στον συγκεκριμένο αυτόνομο ελκυστήρα, όσο και για την ανάπτυξη των απαραίτητων τεχνικών προδιαγραφών για την εφαρμογή του στους συμβατικούς επανδρωμένους ελκυστήρες.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Pedersen, S.M., S. Fountas, S., Have, H. and Blackmore, B.S. 2006. Agricultural robots-system analysis and economic feasibility. *Precision Agriculture* 7(4): 295-308.
2. Griepentrog, H. W. 2002. Task definitions for the Electronic Control Unit (ECU) to control the Hakotrac 3000. KVL.
3. O'Connor, M., Bell, T., Elkaim, G. and Parkinson, B. 1966. Automatic Steering of Farm Vehicles Using GPS. *Proc. of 3rd International Conference on Precision Agriculture,* Minneapolis, Minnesota, June 1996.
4. Benson, E. R., Reid, J. F. and Zhang, Q. 2001. Machine vision based steering system for agricultural combines. ASAE Annual International Meeting.
5. Gou, L., He, Y., Zhang, Q. and Han, S. 2002. Real-time tractor position estimation system using a kalman filter. *Transactions of the ASAE*.
6. Zhang, Q., Reid, J.F. and Noguchi, N. 1999. Agricultural vehicle navigation using multiple guidance sensors. *Proc. of the International Conference on Field and Service Robotics*, 1999.
7. http://old.agsci.kvl.dk/agrotechres/projects/roboweed/pdf/AutoMechHako.pdf
8. Bochtis, D., Vougioukas, S. and Tsatsarelis, C. 2006. A Vehicle Routing Problem Formulation of Agricultural Field Operations Planning for Self-Propelled Machines. *XVI CIGR Word Congress* , Bonn Germany. Full paper on CD 6 pp.
9. Bochtis, D., Vougioukas, S., Tsatsarelis, C. and Y. Ampatzidis. 2007. Optimal Dynamic Motion Sequence Generation for Multiple Harvesters. *Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal*, Manuscript ATOE 07 001. Vol. IX.

(231)

ΧΡΗΣΗ ΔΙΑΧΡΟΝΙΚΩΝ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ SPOT 5 ΓΙΑ ΤΗΝ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΑΓΡΟΤΕΜΑΧΙΩΝ

Λ. Τούλιος[1], Δ. Δουδουμοπούλου[1], Μ. Τούλιος[1], και Δ. Χατζημιτσής[2]
[1] Εθνικό Ίδρυμα Αγροτικής Έρευνας (ΕΘΙΑΓΕ),
Ινστιτούτο Χαρτ/σης & Ταξ/σης Εδαφών, Θεοφράστου 1, 413 35, Λάρισα,
ltoulios@nagref.gr
[2] Τεχνολογικό Πανεπιστήμιο Κύπρου, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Λεμεσός, Κύπρος

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αναλύθηκαν διαχρονικές εικόνες SPOT 5 για την ταξινόμηση γεωργικών χρήσεων γης, ακολουθώντας τη μέθοδο της ταξινόμησης κατά αγροτεμάχιο. Η διαδικασία περιελάμβανε ταξινόμηση των φασματικών δεδομένων, ανυσματική χαρτογράφηση των αγροτεμαχίων και ολοκλήρωση των δεδομένων με μετατροπή των ανυσματικών σε δεδομένα κανάβου, σε περιβάλλον ΓΣΠ. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι είναι δυνατή η εκτίμηση των κατηγοριών χρήσης γης κατά αγροτεμάχιο με δορυφορικά δεδομένα. Επειδή όμως τα χαρτογραφικά δεδομένα αλλάζουν σε ετήσια βάση είναι απαραίτητος και αναγκαίος ο συνεχής έλεγχος της θέσης και της έκτασης των αγροτεμαχίων.

USE OF SPOT5 MULTITEMPORAL DATA FOR AGRICULTURAL PARCEL CLASSIFICATION

L. Toulios[1], D. Doudoumopoulou[1], M. Toulios[1] and D. Hadjimitsis[2]
[1] National Agricultural Research Foundation (NAGREF), Institute of Soil Classification and Mapping, 1 Theofrastou str., 41335, Larissa, Greece, ltoulios@nagref.gr
[2] Cyprus University of Technology, Department of Civil Engineering, P.O.Box 50329, 3036, Lemesos, Cyprus

ABSTRACT

Advanced remote sensing tools were used to develop an accurate land-cover classification based on a per-parcel classification procedure, using multitemporal SPOT 5 images. Per-parcel classification was performed integrating raster remotely sensed imagery with vector cartographic data of the fields, using a GIS. The results demonstrate that based on the spectral data it is possible to develop an accurate assessment of crop cover-types in this area. However, cartographic data are not accurate and differ in yearly basis, and for this reason, a careful parcel size and location control is necessary.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Μεταξύ των εφαρμογών των δορυφορικών εικόνων είναι η αναπροσαρμογή των χωρικών βάσεων δεδομένων των χρήσεων/καλύψεων γης με σχετικά χαμηλό κόστος. Ιδιαίτερα σε δυναμικά περιβάλλοντα όπως η γεωργία, μια πλήρως αυτοματοποιημένη διαδικασία τέτοιων αναπροσαρμογών μπορεί να μειώσει χρόνο και χρήμα, σε σύγκριση με άλλες τεχνικές.

Για πολλά χρόνια η ακρίβεια της χαρτογράφησης των χρήσεων γης από τους δορυφορικούς αισθητήρες περιορίστηκε από τη σχετικά μικρή χωρική διακριτική ικανότητα των εικόνων. Μέχρι την δεκαετία του '90, τα χρησιμοποιούμενα χωρικά δεδομένα ήταν αυτά των δορυφόρων Landsat και SPOT (HRV) [1,2]. Οι πολυφασματικές εικόνες SPOT HRV έχουν χωρική διακριτική ικανότητα 20 m η οποία είναι μεν επαρκής για την ακριβή χαρτογράφηση σε περιφερειακή κλίμακα, η τοπική όμως λεπτομέρεια δεν είναι ορατή. Από το 2002 είναι διαθέσιμα χωρικά πολυφασματικά δεδομένα 10 m (SPOT 5 HRG) και στη συνέχεια, πολυφασματικά δεδομένα 4 m και 3.2 m, από τους αισθητήρες IKONOS και Quickbird αντίστοιχα. Η μεγάλη αυτή διακριτική ικανότητα έχει τη δυνατότητα να παρέχει πλέον ακριβή χαρτογράφηση χρήσεων-γης σε τοπική κλίμακα [3,4,5]. Με την εισαγωγή των πολύ υψηλής ευκρίνειας δορυφορικών συστημάτων η ομαλή αναπροσαρμογή των χαρτών (π.χ. για το Ολοκληρωμένο Σύστημα Αναγνώρισης Αγροτεμαχίων - ILPIS) φαίνεται πλέον εφικτή [6]. Πράγματι, τα δορυφορικά συστήματα SPOT 5, IKONOS και Quickbird παρέχουν αρκετή λεπτομέρεια για τα μικρά αγροτεμάχια, σε σύγκριση με τις εικόνες της γενιάς Landsat, και σε μερικές περιπτώσεις ακόμα και μεμονωμένα δέντρα είναι ορατά στις εικόνες. Εντούτοις, ένα σημαντικό πρόβλημα με τις υψηλής ευκρίνειας εικόνες είναι η ίδια η μεγάλη επιφανειακή διακριτική ικανότητα, επειδή περιέχουν πάρα πολλή λεπτομέρεια. Έτσι, η αυτόματη ταξινόμηση φαίνεται να είναι δυσκολότερη από πριν.

Τέτοια μεγάλη επιφανειακή διακριτική ικανότητα είναι μεν κατάλληλη για μελέτες γεωργίας ακρίβειας (όπου μας ενδιαφέρει η εντός αγρού παραλλακτικότητα) αλλά κρύβει την άμεση σχέση μεταξύ της κατηγορίας κάλυψης γης και της φασματικής απόκρισης των pixels, ενώ με τα δεδομένα μέσης επιφανειακής διακριτικής ικανότητας υπάρχει καλύτερη σχέση μεταξύ της κάλυψης γης και της φασματικής απόκρισής της.

Οι κατηγορίες κάλυψης γης δεν έχουν ομοιόμορφη φασματική απόκριση κυρίως λόγω της ετερογένειας μέσα στους τύπους κάλυψης και των μικτών pixels στα όρια [7,8]. Κατά συνέπεια η προκύπτουσα ταξινόμηση περιλαμβάνει συχνά λάθη. Προκειμένου να υπερνικηθεί αυτό το πρόβλημα και να αυξηθεί η αξιοπιστία της ακρίβειας ταξινόμησης ιδιαίτερα σε γεωργικές χρήσεις, η ταξινόμηση μπορεί να γίνει χρησιμοποιώντας προσέγγιση βασισμένη στο ίδιο το αγροτεμάχιο [9].

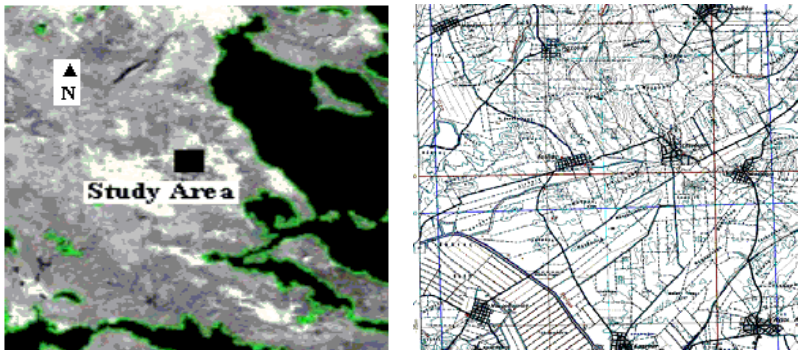
Η μέθοδος ταξινόμησης κατά-αγροτεμάχιο (per-parcel classification) [10,11] υποθέτει ότι τα όρια των αγροτεμαχίων υπάρχουν *a priori* και χρησιμεύουν σαν μονάδες ταξινόμησης. Η ταξινόμηση κατά-αγροτεμάχιο περιλαμβάνει την ανάλυση δορυφορικών εικόνων και την κατανομή των κατηγοριών κάλυψης γης σε μεμονωμένα αγροτεμάχια. Αντίθετα, η παραδοσιακή ταξινόμηση ανά-pixel ταξινομεί τις κατηγορίες κάλυψης εδάφους σε κάθε pixel [12]. Το κύριο όφελος της ταξινόμησης κατά-αγροτεμάχιο είναι η αφαίρεση της παραλλακτικότητας εντός των αγροτεμαχίων, μια αρχική αιτία της λανθασμένης ταξινόμησης ανά-pixel.

Ο στόχος της μελέτης αυτής είναι να εφαρμοστεί η μεθοδολογία ταξινόμησης δορυφορικών εικόνων κατά-αγροτεμάχιο, προκειμένου να χαρτογραφηθούν οι χρήσεις των αγροτεμαχίων. Στην ταξινόμηση κατά-αγροτεμάχιο, οι ταξινομικές κατηγορίες αντιστοιχήθηκαν με τα διανυσματικά όρια των αγροτεμαχίων. Με αυτό τον τρόπο ταξινομήθηκαν αγροτεμάχια αντί pixels. Έτσι, εξαλείφεται η αβεβαιότητα από την ταξινόμηση ανά-pixel και αυξάνει η ακρίβεια ταξινόμησης [7,10,13].

2. ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Η μεθοδολογία περιλαμβάνει την προεπεξεργασία δορυφορικών εικόνων SPOT, τη διαχρονική ανάλυση των εικόνων και την ταξινόμησή τους κατά-αγροτεμάχιο. Η ταξινόμηση κατά-αγροτεμάχιο επιτεύχθηκε με τη σύγκριση των φασματικών δεδομένων σε ανυσματική μορφή με τα χαρτογραφικά στοιχεία των αγροτεμαχίων [14]. Η τεχνική της ταξινόμησης κατά-αγροτεμάχιο εφαρμόστηκε μέσω της ολοκλήρωσης της τηλεπισκόπησης και των γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών, τα οποία παρέχουν την δυνατότητα ανάλυσης εικόνων σε μορφή κανάβου με διανυσματικά γραφικά και ιδιότητες.

Χρησιμοποιήθηκαν τρεις εικόνες SPOT 5 (25 Ιουνίου, 12 Ιουλίου και 28 Ιουλίου 2003) μιας γεωργικής περιοχής κοντά στη Λάρισα (Εικόνα 1). Η επιφανειακή διακριτική ικανότητα των τεσσάρων πολυφασματικών καναλιών είναι 10 X 10 μέτρα και για τις 3 εικόνες. Με την ανάλυση διαχρονικών εικόνων, είναι δυνατό να επιτευχθεί καλύτερη διάκριση των κατηγοριών κάλυψης γης συγκριτικά με την ανάλυση εικόνας μιας μόνο ημερομηνίας.



α) β)

Εικόνα 1. Θέση της περιοχής μελέτης (α), τοπογραφικός χάρτης της περιοχής μελέτης σε κλίμακα 1:5000 (β).

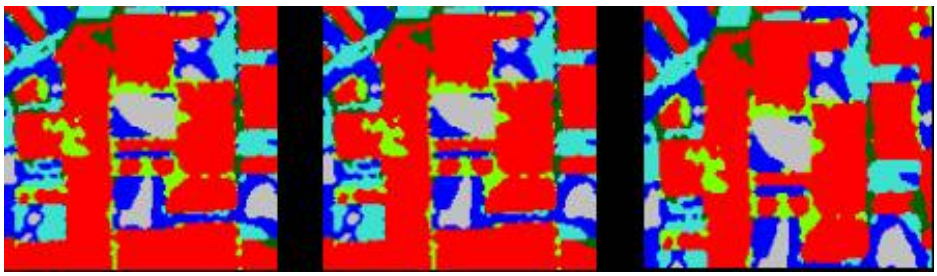
Η γεωμετρική διόρθωση των εικόνων, εκτός των άλλων, ήταν απαραίτητη για να γίνει καλύτερη αντιστοιχία μεταξύ της εικόνας και του διανυσματικού επιπέδου των αγροτεμαχίων, έτσι ώστε τα όρια των αγροτεμαχίων να ταιριάζουν ακριβώς με εκείνα στις εικόνες (Εικόνα 2). Οι εικόνες διορθώθηκαν και γεωδέθηκαν με τη χρήση των λογισμικών ERDAS και ArcGIS. Για να ενσωματωθούν οι δορυφορικές εικόνες με τα διανυσματικά όρια των αγροτεμαχίων, ήταν απαραίτητο να καταχωρηθούν και τα δύο στοιχεία στο ίδιο σύστημα συντεταγμένων. Ως χάρτης αναφοράς χρησιμοποιήθηκε τοπογραφικός χάρτης κλίμακας 1:5.000. Τα διανυσματικά στοιχεία των αγροτεμαχίων λήφθηκαν από την κτηματολογική υπηρεσία και ψηφιοποιήθηκαν έτσι ώστε κάθε πολύγωνο προσδιορίστηκε ως μοναδική οντότητα.

Αρχικά, οι εικόνες ταξινομήθηκαν με βάση το pixel και μέσω ‘ερωτήσεων’ με τη βάση δεδομένων του GIS, εμφανίστηκαν χωριστά τα όρια κάθε τύπου κάλυψης πάνω στις εικόνες ώστε να εντοπισθούν και αναγνωρισθούν οι κατηγορίες γεωργικής κάλυψης της γης για κάθε εικόνα, με τη βοήθεια φωτοερμηνείας και δεδομένων αναφοράς που συγκεντρώθηκαν χρησιμοποιώντας GPS. Έτσι τα δορυφορικά στοιχεία ομαδοποιήθηκαν στις κατηγορίες κάλυψης γης.

Εικόνα 2. Ψευδοέγχρωμη σύνθεση RGB των καναλιών 3, 2 και 1 της εικόνας της 28 Ιουλίου 2003 του SPOT 5, πάνω στο διανυσματικό επίπεδο των πολυγώνων.

Χρησιμοποιώντας την μη επιβλεπόμενη μέθοδο, οι τρεις εικόνες ταξινομήθηκαν στην αρχή σε πολλές κλάσεις χρήσης γης η κάθε μία. Χρησιμοποιώντας αυτήν την τεχνική το σύστημα προσδιορίζει τα παρόμοια pixels με βάση τις τιμές ανάκλασης των καναλιών. Έτσι, κάθε εικόνα ταξινομείται παράγοντας μόνο ένα στρώμα θεματικών στοιχείων που αντιπροσωπεύουν τις κατηγορίες ενδιαφέροντος. Οι τρεις διαχρονικές ταξινομημένες εικόνες είχαν σημαντικές διαφορές που οφείλονται κυρίως στην αυξομείωση της βλάστησης κάθε αγροτεμαχίου με το χρόνο (αλλαγή φαινολογικών σταδίων) δημιουργώντας σύγχυση.

Για τη βελτίωση της ταξινόμησης χρησιμοποιήθηκε η τεχνική 'φιλτραρίσματος' η οποία σταδιακά απομάκρυνε τις μικρές διαφοροποιήσεις κυρίως μέσα στα αγροτεμάχια και περιόρισε τις μικρές κλάσεις (Εικόνα 3).



(α) (β) (γ)

Εικόνα 3. Απόσπασμα ταξινομημένης εικόνας όπου φαίνεται η σταδιακή μείωση των μικρών κλάσεων ταξινόμησης με την τεχνική φιλτραρίσματος: α) πολλές μικρές κλάσεις → β) λιγότερες → γ) πιο λίγες.

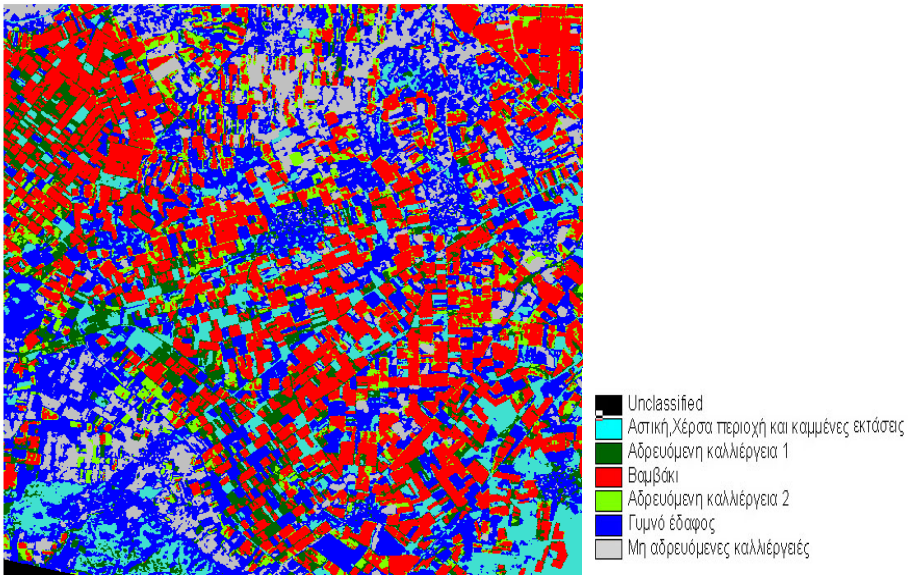
Μια ευρέως χρησιμοποιημένη μέθοδος ταξινόμησης είναι ο αλγόριθμος μεγίστης πιθανοφάνειας (maximum-likelihood), όπου τα pixels ταξινομούνται στην κατηγορία στην οποία είναι πλέον πιθανό να ανήκουν. Αυτή η μέθοδος ταξινόμησης είναι σχετικά απλή και ακριβής διαδικασία, διαθέσιμη σε πολλά ψηφιακά συστήματα επεξεργασίας εικόνας, αν και εναλλακτικές τεχνικές ταξινόμησης, όπως τα νευρωνικά δίκτυα, έχει δειχθεί ότι παρέχουν μεγαλύτερη ακρίβεια [15,16]. Ο ταξινομητής μεγίστης

πιθανοφάνειας χρησιμοποιήθηκε με την υπόθεση ίσης πιθανότητας για όλες τις κατηγορίες, για κάθε ημερομηνία. Η ταξινόμηση έγινε χρησιμοποιώντας όλα τα κανάλια και οι προκύπτουσες ταξινομημένες εικόνες ολοκληρώθηκαν στη συνέχεια με το διανυσματικό επίπεδο των πολυγώνων για να εκτελέσουν την ανάλυση κατά-αγροτεμάχιο.

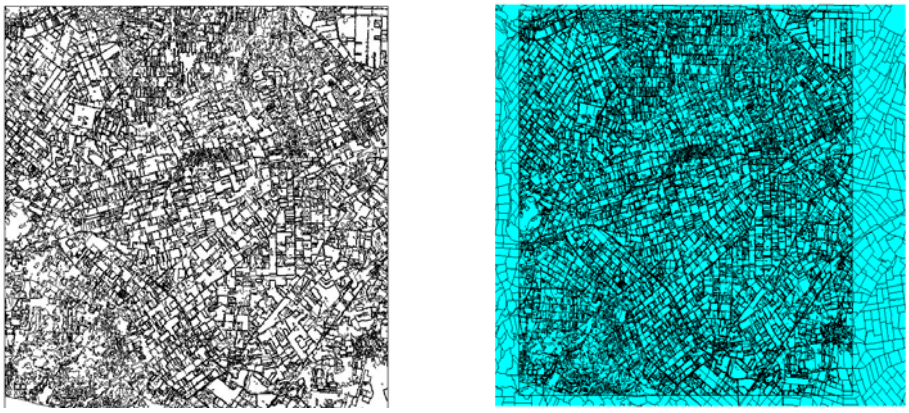
Δεδομένου ότι σε κάθε κατηγορία υπάρχουν pixels με μικρές διαφορές στις τιμές ανάκλασης, χρησιμοποιήθηκε η τεχνική 'μάσκα ανάλυσης' για να προσδιορίσει τις όμοιες περιοχές κάθε κατηγορίας χρήσης. Με τη μάσκα των οριακών pixel των αγροτεμαχίων, μία κατηγορία προσαρμόστηκε σε κάθε αγροτεμάχιο και έτσι τα οριακά pixels αποκλείστηκαν. Τα οριακά pixels 'εκφράζουν' το φασματικό μίγμα δύο ή περισσότερων κατηγοριών κάλυψης γης και κατά συνέπεια προκαλούν λάθος ταξινόμηση. Επομένως, για τις περαιτέρω αναλύσεις χρησιμοποιήθηκαν μόνο τα pixels μέσα στα αγροτεμάχια.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Με βάση τα ανωτέρω, κάθε αγροτεμάχιο ταξινομήθηκε σε μια από 6 κύριες κατηγορίες: βαμβάκι, αρδευόμενες καλλιέργειες 1, αρδευόμενες καλλιέργειες 2, μη αρδευόμενες καλλιέργειες, γυμνό έδαφος, αστικές/χέρσες/καμένες περιοχές (Εικόνα 4).



Εικόνα 4. Ταξινόμηση χρήσεων γης με βάση τις τρεις διαχρονικές εικόνες SPOT 5.



α) β)

Εικόνα 5. Μετατροπή ταξινομημένης εικόνας σε διανυσματική μορφή (α) και 'υπέρθεσή' της επί των ανυσματικών δεδομένων (β).

Για την επαλήθευση των αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκε η τεχνική της μεταταξινόμησης, μετατρέποντας τις ταξινομημένες εικόνες σε διανυσματικά αρχεία. Κάθε ταξινομημένη εικόνα μετασχηματίστηκε σε αρχείο διανυσματικής μορφής όπου οι γραμμές αντιστοιχούν με τα όρια των κατηγοριών χρήσης γης. Αυτά τα αρχεία εμφανίστηκαν στην οθόνη και συγκρίθηκαν με το σύνολο των διανυσματικών στοιχείων των αγροτεμαχίων (Εικόνα 5).

Η σύγκριση των δύο διανυσματικών αρχείων έδειξε ότι σε γενικές γραμμές η ταξινόμηση ακολουθεί τα αγροτεμάχια. Σε μερικές όμως περιπτώσεις όπως στην περίπτωση γυμνής γης με συνεχόμενα ακαλλιέργητα αγροτεμάχια, η ταξινόμηση τα ενοποιεί καταργώντας τα όρια.

Ενώ διάφορες κατηγορίες παρέμειναν σχετικά σταθερές μεταξύ των τριών σκηνών, οι κυρίως γεωργικές κατηγορίες (βαμβάκι, γυμνό έδαφος) αυξήθηκαν αρκετά στο τελευταίο στάδιο. Αυτό απέτρεψε τη συγχώνευση αγροτεμαχίων, προστατεύοντας τα αγροτεμάχια από λάθος ταξινόμηση. Για παράδειγμα, η κατηγορία 'γυμνό έδαφος' προσδιορίστηκε σωστά επειδή ήταν παρούσα σε όλες τις εικόνες.

Εξετάζοντας τις ταξινομημένες εικόνες, είναι σαφές ότι τα περισσότερα μεγάλα αγροτεμάχια όπως οι περιοχές των χειμερινών και εαρινών καλλιεργειών ήταν ταξινομημένα σωστά. Αντίθετα, τα μικρά αγροτεμάχια ταξινομήθηκαν λάθος, κατά ένα μεγάλο μέρος, λόγω των σχετικά λίγων καθαρών pixel που συμβάλλουν στην ταξινόμησή τους.

Ένα σημαντικό πρόβλημα που συνδέεται με την προσέγγιση κατά-αγροτεμάχιο είναι αυτό της απώλειας των ορίων. Όπου τα όρια των χωραφιών λείπουν από τα χαρτογραφικά στοιχεία, ολόκληρες ενότητες αγροτεμαχίων μπορούν να ταξινομηθούν λάθος [17]. Αυτό είναι ιδιαίτερο πρόβλημα κατά τον ταξινόμηση των μεγάλων αγροτεμαχίων. Παραδείγματος χάριν, όπου δύο τεμάχια μοιράζονται ένα ελλείπον όριο, το μικρότερο μπορεί να καταχωρηθεί λάθος στο σύνολό του. Για να αποφευχθεί αυτό είναι απαραίτητο να εντοπισθούν αυτά τα χωράφια και να βρεθούν τα όρια που λείπουν.

Η ταξινόμηση κατά-αγροτεμάχιο έγινε με την σύγκριση των δορυφορικών δεδομένων με τα διανυσματικά χαρτογραφικά στοιχεία, αν και θα πρέπει να σημειωθεί ότι μπορεί να γίνει λάθος όταν τα χαρτογραφικά όρια δεν αντιστοιχούν καλά με τα φυσικά όρια μέσα στην εικόνα. Δηλαδή τα αποτελέσματα της ταξινόμησης κατά-αγροτεμάχιο εξαρτώνται από την ακρίβεια των χαρτογραφικών στοιχείων των χαρτών. Τα αποτελέσματα όμως δείχνουν ότι τα χαρτογραφικά στοιχεία των χαρτών δεν είναι

ακριβή και διαφέρουν στην ετήσια βάση, και επομένως είναι απαραίτητη η συχνή επαναψηφιοποίησή τους.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Με τα δορυφορικά δεδομένα υψηλής ευκρίνειας το ενδιαφέρον για αυτόματη παραγωγή υψηλής ποιότητας χαρτών κάλυψης/χρήσης γης έχει αυξηθεί. Σε αντίθεση με την κοινή αίσθησή μας, η αύξηση της χωρικής διακριτικής ικανότητας δεν οδηγεί αυτόματα σε βελτιωμένη ταξινόμηση. Χρησιμοποιώντας δεδομένα μεγάλης χωρικής διακριτικής ικανότητας υπάρχουν πολλά μικρά αντικείμενα ορατά που οδηγούν σε ανεπιθύμητη χωρική λεπτομέρεια, χρήσιμη όμως σε μελέτες γεωργίας ακριβείας. Ένα άλλο πρόβλημα είναι η μετάβαση από την κάλυψη γης στη χρήση γης και αυτό απαιτεί κάποια έννοια του χωρικού πλαισίου και της κατανόησης των χωρικών σχέσεων της διαμόρφωσης της κάλυψης της γης.

Στην παρούσα εργασία παρουσιάστηκε μια εναλλακτική μέθοδος ταξινόμησης, με βάση το αγροτεμάχιο, προκειμένου να υπερνικηθούν τα παραπάνω εμπόδια. Η ταξινόμηση κατά-αγροτεμάχιο, υψηλής ευκρίνειας δορυφορικών εικόνων όπως ο SPOT 5, παρέχει σημαντικά πλεονεκτήματα σε σχέση με την προσέγγιση ανά-pixel. Χρησιμοποιώντας τα αγροτεμάχια είναι δυνατό να καθοριστεί η χρήση της γης και το τελικό προϊόν είναι καλύτερης χαρτογραφικής ποιότητας σε σχέση με αυτό που θα ήταν με τη μέθοδο ανά-pixel. Συνεπώς, αυτή η ταξινόμηση μπορεί καλύτερα να κάνει διακρίσεις μεταξύ των τύπων χρήσης της γης επειδή λαμβάνει υπόψη τη χωρική διαμόρφωση των αγροτεμαχίων.

Τα δορυφορικά δεδομένα SPOT 5 με 10m χωρική διακριτική ικανότητα ήταν αρκετά ακριβή για την ταξινόμηση της γης στην αγροτική περιοχή που μελετήθηκε. Εντούτοις, για να είναι η ταξινόμηση κατά-αγροτεμάχιο ακριβής, είναι απαραίτητο να ελεγχθούν και να ενημερωθούν ενδεχομένως, τα διανυσματικά τοπογραφικά στοιχεία από τα οποία εξαρτάται, πριν από την ταξινόμηση, διότι τα ελλείποντα όρια των χωραφιών οδηγούν πολλές φορές σε λάθος καταχωρήσεις ολόκληρων ενοτήτων αγροτεμαχίων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Toulios, L.G., Yassoglou, N.J. and Moutsoulas, M., 1990. Land use mapping in West Messinia, Greece, using satellite imagery. *Int. J. Remote Sensing*, 11(9): 1645-1661.
2. Fuller, R.M, Groom, G.B. and Jones, A.R., 1994. The land cover map of Great Britain: An automated classification of Landsat Thematic Mapper data. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 60: 553-562.
3. Aplin, P., Atkinson, P.M. and Curran, P.J., 1997. Fine spatial resolution satellite sensors for the next decade. *Int. J. Remote Sensing*, 18: 3873-3881.
4. Hadjimitsis, D.J. and Toulios, L., 2006. Satellite Remote Sensing for Crop Discrimination and Crop Monitoring. *Proc. of the 3rd HAICTA International Conference on "Information Systems in Sustainable Agriculture, Agroenvironment and Food Technology"*, 20-23 September 2006, Volos, Greece, pp 271-275.
5. Toulios, L. and Tsitouras A., 2006. Use of high and medium resolution multispectral satellite data for the study of the Pinios delta in Greece. *Proc. of the Globwetland Symposium "Looking at wetlands from space"*, 19-20 October 2006, ESA-ESRIN, Frascati, Rome, Italy (CD rom).
6. Toulios, L., Zerva, G., Kravaritis, Ch. and Tsitouras, A., 2003. GIS, GPS and RS for crop and parcel control. *Proc. of the International Congress on Information Technology in Agriculture, Food and Environment (ITAFE '03)*, 7-10 October 2003, Izmir, TURKEY, (e-Proceedings pp 1-7), pp 581-586.

7. Janssen, L.L.F., Jaarsma, M.N. and van der Linden, E.T.M., 1990. Integrating topographic data with Remote Sensing for Land-Cover classification. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 56(11): 1503-1506.
8. Mather, P.M., 1999. *Computer Processing of Remotely-Sensed Images: An Introduction*, Second Edition, John Wiley, Chichester, United Kingdom, 292 p.
9. Berberoglu, S. and Curran, P.J., 2000. Utilizing texture measures in an artificial neural network for the per-field classification of agricultural land cover in the Mediterranean. *Aspects of Applied Biology*, 60: 21-28.
10. Aplin, P., Atkinson, P.M. and Curran, P.J., 1999. Fine Spatial Resolution Simulated Satellite Sensor Imagery for Land Cover Mapping in the United Kingdom. *Remote Sensing of the Environment*, 68: 206-216.
11. Aplin, P., and Atkinson, P.M., 2001. Sub-pixel land cover mapping for per-parcel classification. *Int. J. Remote Sensing*, 22: 2853-2858.
12. Evans, C., Jones, R., Svalbe, I. and Berman, M., 2002. Segmenting multispectral Landsat TM images into parcel units. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 40: 1054-1064.
13. Johnson, K., 1994. Segment-based land-use classification from SPOT Satellite Data. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 60: 47-53.
14. Mattikalli, N.M., Devereux, B.J. and Richards, K.S., 1995. Integration of remotely sensed satellite images with a geographical information system. *Computers and Geosciences*, 21: 947-956.
15. Yang, H., van der Meer, F., Bakker, W. and Tan, Z.J., 1999. A back-propagation neural network for mineralogical mapping from AVIRIS data. *Int. J. Remote Sensing*, 20: 97-110.
16. Gong, P., Wang, C.X. and Liang, S., 1999. Inverting a canopy reflectance model using a neural network. *Int. J. Remote Sensing*, 20: 111-122.
17. Aplin, P., Atkinson, P.M. and Curran, P.J., 1998. Combining fuzzy and per-parcel classification techniques to map urban land cover from fine spatial resolution satellite sensor imagery. In, RSS98 Developing International Connections. *Proc. of the 24th Annual Conference and Exhibition of the Remote Sensing Society*. Nottingham, UK, Remote Sensing Society, pp 561-567.

(233)

ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗΣ ΡΕΥΣΤΟΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΣΕ ΚΕΛΙ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ ΕΥΘΕΩΣ ΚΑΝΑΛΙΟΥ

Αικατερίνη Α. Μπαξεβάνου[1α], Δημήτριος Κ. Φείδαρος[1β]
[1]Eco-energy – Ενεργειακοί Σύμβουλοι Μηχανικοί, Παπασταύρου 2-4, 41222 Λάρισα, [α] cbaxe@eco-energy.gr, [β] jimfeid@otenet.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εργασία αυτή παρουσιάζεται ένα 3Δ, μονοφασικό μοντέλο, προσομοίωσης της λειτουργίας κελιού καυσίμου υδρογόνου τύπου PEM με χρήση υπολογιστικής ρευστοδυναμικής. Το μοντέλο αναπτύχθηκε έτσι ώστε να είναι δυνατή η προσομοίωση κελιών με άμεση τροφοδοσία και εναλλακτικού καυσίμου. Η επίλυση των εξισώσεων ροής (Navier-Stokes) και μεταφοράς θερμότητας και μάζας με ηλεκτροχημικές αντιδράσεις γίνεται με τη μέθοδο των πεπερασμένων όγκων. Κατασκευάστηκαν οι καμπύλες τάσης ρεύματος για δύο θερμοκρασίες και δύο πιέσεις λειτουργίας. Τα αποτελέσματα συγκρίθηκαν με πειραματικά και προσδιορίστηκε η ευαισθησία της ακρίβειας του μοντέλου σε διαφορετικές συνθήκες λειτουργίας.

THREE DIMENSIONAL CFD PARAMETRIC STUDY IN A PEM TYPE FUEL CELL

Catherine A.Baxevanou[1a], Dimitrios K.Fidaros[1b]
[1]Eco-energy – Energy Consultant Engineers
Papastaurou 2-4, 41222 Larissa, [a]cbaxe@eco-energy.gr, [b]jimfeid@otenet.gr

ABSTRACT

In the following study is presented a 3D, single phase, model for the CFD simulation of a fuel cell operation, of type PEM. The model is developed in such a way that it can handle fuel cells with alternative feeding gases. The flow equations (Navier-Stokes), as well as the mass transport with the electrochemical reaction equations are solved with a finite element method. Polarization curves are constructed for two operating temperatures and pressures. Results are compared with equivalent experiments. The sensitivity of the model accuracy in different operating conditions is determined.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η κυψέλη καυσίμου αποτελεί ένα μηχανισμό για την ηλεκτροχημική μετατροπή της ενέργειας που είναι αποθηκευμένη στους χημικούς δεσμούς του υδρογόνου [1]. Ο ηλεκτρισμός παράγεται με τη μορφή συνεχούς ρεύματος. Τα τελευταία χρόνια έχει αναπτυχθεί έντονο βιομηχανικό και ερευνητικό ενδιαφέρον για τη χρήση τους, εφόσον προσφέρουν τη δυνατότητα παραγωγής καθαρής ενέργειας και, επιπλέον, εμφανίζουν σημαντικά περιθώρια βελτίωσης της απόδοσής τους που συνδέονται με τα φαινόμενα ροής και μεταφοράς κατά τη λειτουργία τους. Ιδιαίτερη σημασία έχει η δυνατότητα απευθείας τροφοδοσίας τέτοιων κυψελών με εναλλακτικά καύσιμα, όπως η βιοαιθανόλη, η οποία αναμορφώνεται δίνοντας το απαραίτητο υδρογόνο εντός της συσκευής μέσα στην ίδια συσκευή.

Η προσομοίωση με υπολογιστική ρευστοδυναμική των φαινομένων που λαμβάνουν χώρα μέσα σε ένα κελί καυσίμου βασίστηκε σε μοντέλα που αρχικά αναπτύχθηκαν ως αναλυτικά εργαλεία για 2Δ ροές [2-4] όπου δεν επιλύονται οι εξισώσεις ροής Navier-Stokes, αλλά χρησιμοποιούν διάφορα φυσικά μοντέλα που είναι επιθυμητά σε ένα CFD (Computational Fluid Dynamics) μοντέλο ΗΣΚ (Ηλεκτροχημικό Στοιχείο Καυσίμου).

Παράλληλα εμφανίζονται μελέτες σε τρεις διαστάσεις στις εργασίες [1,5] στις οποίες η ροή θεωρείται μονοφασική και ισοθερμοκρασιακή ενώ η έμφαση δίνεται στη ρευστοδυναμική. Η υπολογιστική αντιμετώπιση 3Δ προβλημάτων γίνεται με τη χρήση εξισώσεων Navier-Stokes και αρχικώς απλοποιημένων φυσικοχημικών μοντέλων, τα οποία στην συνέχεια αναπτύχθηκαν πληρέστερα, δεδομένου ότι επηρεάζουν σημαντικά την απόδοση ενός ΗΣΚ. Σε όλες τις περιπτώσεις η ροή είναι μόνιμη και ασυμπίεστη. Στη συνέχεια τα μοντέλα που είχαν αναπτυχθεί ως αναλυτικά εργαλεία άρχισαν να ενσωματώνονται στα υπολογιστικά εργαλεία. Στην εργασία [6] προστίθεται η εξίσωση της ενέργειας και μελετάται η κατανομή της θερμοκρασίας. Στην εργασία [7] που είναι συνέχεια της [1], μοντελοποιείται και η επίδραση της ωμικής αντίστασης, ενώ στην εργασία [8] το μοντέλο εξελίσσεται και εφαρμόζεται σε πολύπλοκη γεωμετρία σερπαντίνας προσεγγίζοντας τη γεωμετρία ενός πραγματικού ΗΣΚ. Τέλος, το μοντέλο ολοκληρώνεται στην εργασία [9] με βάση ένα εμπορικό κώδικα CFD (Fluent) προσομοιώνοντας ένα κελί ευθέως καναλιού για το οποίο υπάρχουν μετρήσεις [10].

Μέχρι στιγμής έχουν αναπτυχθεί φυσικά μοντέλα διφασικής ροής σε 2Δ κυρίως γεωμετρίες και μονοφασικής ροής σε 3Δ [11] και πολύπλοκες γεωμετρίες, τα οποία μοντελοποιούν σε μεγάλο ή μικρό βαθμό την υγροποίηση των ατμών κυρίως μέσα στη μεμβράνη και δευτερευόντως στα στρώματα διάχυσης.

2. ΤΟ ΦΥΣΙΚΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ

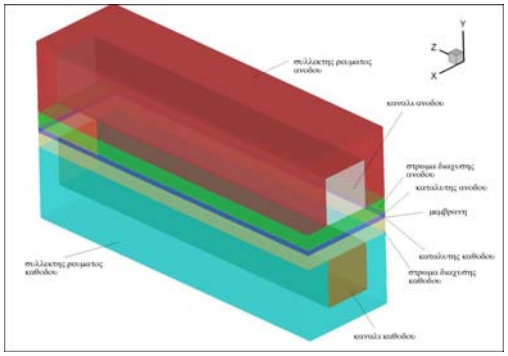
Η βασική γεωμετρία ενός κελιού καυσίμου συνίσταται σε μια μεμβράνη διαπερατή μόνο από πρωτόνια, η οποία είναι και ο ηλεκτρολύτης. Κάθε πλευρά της καλύπτεται με καταλύτη, ο οποίος επιταχύνει την εξέλιξη των φυσικοχημικών φαινομένων. Το μίγμα των αερίων που συμμετέχει σε αυτά άγεται στους καταλύτες μέσω στρωμάτων διάχυσης που μεσολαβούν ανάμεσα στα κανάλια ροής και τους καταλύτες και συντελούν στην αποτελεσματική διάχυση των αερίων προς την επιφάνεια του ηλεκτρολύτη. Το ηλεκτρικό ρεύμα συλλέγεται σε συλλέκτες που περιβάλλουν τα κανάλια ροής. Η άνοδος σε ένα κελί καυσίμου PEM (Proton Exchange Membrane) τροφοδοτείται με υδρογόνο, που απελευθερώνει ηλεκτρόνια στην επιφάνεια του ηλεκτρολύτη αφήνοντας θετικά φορτισμένα ιόντα (απλά πρωτόνια). Η πολυμερής μεμβράνη έχει την ιδιότητα να επιτρέπει τη διέλευση μόνο των πρωτονίων αλλά ταυτόχρονα είναι ηλεκτρικός μονωτής. Έτσι από τη μια πλευρά της δημιουργείται περίσσεια θετικού φορτίου (κάθοδος) και από την άλλη αρνητικό φορτίο (άνοδος). Αν επιτραπεί η επικοινωνία των δύο πλευρών μέσω

αγώγιμου υλικού τότε τα ηλεκτρόνια θα μετακινηθούν προκειμένου να συναντήσουν τα ελεύθερα πρωτόνια, αναπτύσσοντας ηλεκτρικό ρεύμα. Όταν τα ηλεκτρόνια συναντούν τα πρωτόνια παρουσία οξυγόνου (του αέρα με τον οποίο τροφοδοτείται η κάθοδος) παράγεται νερό και θερμότητα. Η άνοδος δεν τροφοδοτείται με καθαρό υδρογόνο αλλά με ένα μίγμα υδρογόνου και υδρατμών, οι οποίοι υγροποιούμενοι πάνω στην καταλύτη κρατούν τη μεμβράνη υγρή ώστε να έχει σημαντική πρωτονιακή αγωγιμότητα. Στην εργασία αυτή παρουσιάζονται αποτελέσματα της προσομοίωσης των φαινομένων ροής και μεταφοράς σε ένα κελί καυσίμου ευθέως καναλιού τροφοδοτούμενο με υδρογόνο και ελέγχεται η ικανότητα του μοντέλου να προσομοιώσει με ακρίβεια διαφορετικές συνθήκες λειτουργίας που συναντώνται σε διαφορετικές τιμές της έντασης του παραγόμενου ρεύματος.

3. ΤΟ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ

Στο παρόν 3Δ μοντέλο έγιναν οι ακόλουθες παραδοχές: α) Η ροή είναι μόνιμη, ασυμπίεστη, στρωτή και μονοφασική (το νερό λαμβάνεται μόνο ως ατμός εκτός από την περιοχή της μεμβράνης), β) Οι συντελεστές διάχυσης προσεγγίζονται με τη θεωρία αραιής διάχυσης, γ) η μεμβράνη είναι μη-διαπερατή από αέρια, δ) τα πορώδη στρώματα θεωρούνται ισότροπα, και ε) τα αέρια υπόκεινται στο νόμο των τελείων αερίων.

Επιλύονται οι εξισώσεις μεταφοράς για τις ακόλουθες βασικές μεταβλητές: ταχύτητες u, v, w [m/s], πίεση P [Pa], κλάσματα μάζας νερού $m_{w,}$ οξυγόνου στην κάθοδο m_{O2}, υδρογόνου στην άνοδο m_{H2}, θερμοκρασία T [K], ηλεκτρικό δυναμικό στερεάς φάσης φ_{sol}, και μεμβράνης φ_{mem} [volts] και, τέλος, περιεκτικότητα σε νερό της μεμβράνης λ [mol νερού/ισοδύναμα SO_3^-], καθώς και η εξίσωση της συνέχειας [5-9, 12]:



Σχήμα 1. Γεωμετρία του κελιού καυσίμου

Συνέχεια μάζας: $$\nabla\left(\varepsilon\rho\vec{u}\right)=S_m \quad (1)$$

Διατήρηση ορμής: $$\nabla\left(\varepsilon\rho\vec{u}\vec{u}\right)=-\nabla p+\nabla\vec{\tau}+S_{mom} \quad (2)$$

Διατήρηση ειδών: $$\nabla\left(\varepsilon\rho\vec{u}m_i\right)=-\nabla\vec{j}_i+S_i \quad (3)$$

Διατήρηση ενέργειας: $$\frac{\partial}{\partial x_i}\left(u_i\left(\rho E+p\right)\right)=\frac{\partial}{\partial x_i}\left(k_{eff}\frac{\partial T}{\partial x_i}-\sum_{j'}h_{j'}J_{j'}+u_j\left(\tau_{ij}\right)_{eff}\right)+S_h \quad (4)$$

Ηλεκτρικό δυναμικό: $$\nabla\left(\sigma_i\nabla\phi_i\right)+R_i=0 \quad (5)$$

Περιεκτικότητα μεμβράνης σε νερό: $$\nabla\left(D_\lambda\nabla\lambda\right)=0 \quad (6)$$

όπου, ρ πυκνότητα [kg/m^3], S_m όρος πηγής μάζας [kg/m^{3}s], ε συντελεστής πορώδους, $\vec{\vec{\tau}}$ τανυστής διατμητικής τάσης, S_{mom} όρος πηγής ορμής, m_i κλάσμα μάζας i στοιχείου του μίγματος, $\vec{j_i}$ όρος διάχυσης i στοιχείου, S_i όρος πηγής, E ενέργεια [W/s], S_h όρος πηγής ενέργειας [W/m^3], k_{eff} ενεργός συντελεστής αγωγιμότητας, h_j ενθαλπία αερίου i, όπου ο δείκτης i = sol για την στερεά φάση και i= mem για τη μεμβράνη, R_i όρος πηγής, σ_i ηλεκτρική αγωγιμότητα στερεάς φάσης και πρωτονιακής αγωγιμότητας της μεμβράνης σε [1/Ohm-m] και D_λ συντελεστής διάχυσης του περιεχομένου σε νερό.

Μια σειρά από βοηθητικές σχέσεις χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό των όρων πηγής και των βασικών συντελεστών των παραπάνω εξισώσεων.

Ο όρος πηγής της συνέχειας δίνεται ως : $S_m = \begin{cases} S_{H_2} + S_{aw} & \text{στον καταλύτη ανόδου} \\ S_{O_2} + S_{cw} & \text{στον καταλύτη καθόδου} \\ 0 & \text{οπουδήποτε αλλού} \end{cases}$ (7)

Ο όρος πηγής στην εξίσωση της i-ορμής είναι $S_{pi} = -\mu u_i \beta_i^{-1}$ (8), όπου, β_i η διαπερατότητα. Ο όρος πηγής του i στοιχείου στην εξίσωση (3) είναι $S_i = -0.5 F^{-1} M_i R_j$ (9), όπου, R_j η πυκνότητα του ρεύματος ανταλλαγής ή μεταφορά ογκομετρικού ρεύματος στην άνοδο ή την κάθοδο, [A/m^3], F η σταθερά του Faraday (= 96487 [C/mol]).

Ο συντελεστής ανταλλαγής ρεύματος στην άνοδο (εξίσωση Bulter-Volmer με απλοποίηση Tafel) είναι: $R_i = j_i^{ref} \left([C_2][C_2]_{ref}^{-1} \right)^{\gamma_i} \left(e^{\alpha_i F \eta_i / RT} \right)$ (10), όπου i είναι ο δείκτης ανόδου-καθόδου, γ_i ο συντελεστής συγκεντρωσιακής εξάρτησης, α_i συντελεστής μεταφοράς, $[C_2]_{ref}$ η συγκέντρωση αναφοράς υδρογόνου ή οξυγόνου [kg mol/m^3], $[C_2]$ η συγκέντρωση υδρογόνου ή οξυγόνου στην επιφάνεια του καταλύτη, j^{ref} το ογκομετρικό ανταλλασσόμενο ρεύμα αναφοράς [A/m^3].

Η τάση στην άνοδο είναι: $\eta_{an} = \phi_{sol} - \phi_{mem}$ (11) και στην κάθοδο $\eta_{cat} = \phi_{sol} - \phi_{mem} - V_{oc}$ (12) όπου, V_{OC} είναι η τάση ανοιχτού κυκλώματος.

Ο όρος πηγής στην εξίσωση διατήρησης του ηλεκτρικού δυναμικού της στερεάς φάσης και της μεμβράνης είναι:

$$R_{sol} = \begin{cases} -R_{an} \ (<0) \text{ anode} \\ R_{cat} \ (>0) \text{ cathode} \end{cases} \text{ (13) και } R_{mem} = \begin{cases} R_{an} \ (>0) \text{ anode} \\ -R_{cat} \ (<0) \text{ cathode} \end{cases} \quad (14)$$

Η πρωτονιακή αγωγιμότητα της μεμβράνης είναι:

$$\sigma_{mem} = \beta \varepsilon (0.514\lambda - 0.326)^{\omega} e^{1268\left(303^{-1} - T^{-1}\right)} \quad (15)$$

όπου, οι σταθερές του μοντέλου, *β=ω=1* και ο συντελεστής διάχυσης της μεμβράνης για το περιεχόμενο νερό: $D_\lambda = f(\lambda) e^{2416\left(303^{-1} - T^{-1}\right)}$ (16) όπου, f(λ) συνάρτηση για τον υπολογισμό του συντελεστή διάχυσης. Η εξίσωση για την κινητικότητα του νερού είναι $a = P_{wv} / P_{sat}$ (17) όπου, P_{sat} η πίεση κορεσμού και P_{wv} η μερική πίεση του ατμού. Ο ενεργός συντελεστής της αγωγιμότητας σε πορώδη δίνεται ως $k_{eff} = \varepsilon k_f + (1-\varepsilon) k_s$ (18) όπου, k_f, k_s η θερμική αγωγιμότητα της υγρής και στερεάς φάσης, αντίστοιχα. Τέλος η συνάρτηση f(λ) για τον υπολογισμό του συντελεστή διάχυσης του περιεχόμενου νερού υπολογίζεται από την σχέση:

$$f(\lambda)=\begin{cases}1 & \lambda<2\\ 1+2(\lambda-2) & 2<\lambda<3\\ 3-1.167(\lambda-3) & 3<\lambda<4.5\\ 1.25 & 4.5<\lambda\end{cases} \quad (20)$$

4. ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΕΣ ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΕΣ

Η επίλυση των εξισώσεων ροής (Navier-Stokes) και των εξισώσεων μεταφοράς των βαθμωτών μεγεθών έγινε με τη μέθοδο των πεπερασμένων όγκων [12]. Ως βάση χρησιμοποιήθηκε πηγαίος καρτεσιανός κώδικας υπολογιστικής ρευστοδυναμικής, στον οποίο ενσωματώθηκαν τα απαιτούμενα μοντέλα που περιγράφονται στις εξισώσεις (5)-(18). Οι όροι της συναγωγής διακριτοποιήθηκαν με $2^{ης}$ τάξης ανάντη σχήμα, ενώ οι της διάχυσης με κεντρικές διαφορές, ενώ η σύζευξη των εξισώσεων ορμής και συνέχειας έγινε με τον αλγόριθμο SIMPLE.

Το κελί καυσίμου είχε γεωμετρία ευθύγραμμου καναλιού (*Σχήμα 1*) μήκους 70 mm με διατομή ανόδου και καθόδου $1mm^2$. Το πάχος της μεμβράνης ήταν 0.108 mm, κάθε καταλύτη 0.0129 mm, κάθε στρώματος διάχυσης 0.3 mm, και των συλλεκτών ρεύματος 0.5 mm. Δεδομένου ότι η ροή είναι αργή (Re<50) και το υπολογιστικό πλέγμα ήδη πολύ λεπτό (συνολικά 67200 κελιά), δεν λήφθηκε ιδιαίτερη μέριμνα για πύκνωση στα όρια.

5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

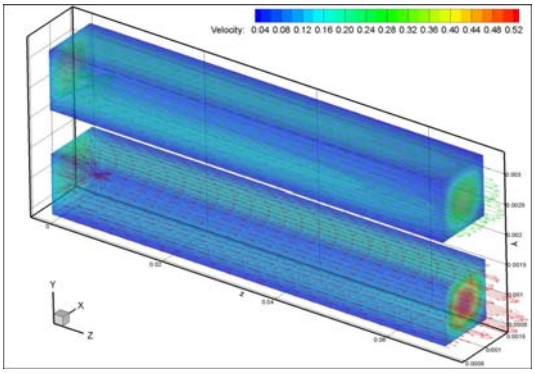
Αρχικά προσομοιώθηκε η περίπτωση αναφοράς για την οποία υπάρχουν υπολογιστικά [9] και πειραματικά [10] αποτελέσματα για σύγκριση (*βλ. Πίνακα 1*). Με το παρόν μοντέλο υπολογίστηκε μία μέση τιμή έντασης ρεύματος στην κάθοδο 0.275 A/cm^2, που διαφέρει κατά 3% από την πειραματική τιμή της εργασίας [10] και θεωρείται πολύ καλή προσέγγιση.

Πίνακας 1. Στοιχεία κελιού καυσίμου

Χαρακτηριστικά κελιού καυσίμου	Τιμές Άνοδος	Κάθοδος
Πυκνότητα ρεύματος αναφοράς, $j_{an}^{ref}\left[H_2\right]^{-\gamma_{an}}$ *[A/m³]*	$9.5598\text{x}10^{14}$	$8.86648\text{x}10^{8}$
Εκθέτης Συγκέντρωσης, γ_{an}	0.25	0. 5
Συντελεστής ανταλλαγής, α	0.5	0.5
Τάση ανοικτού κυκλώματος V_{oc} *[V]*	0.928	
Πορώδες ε	0.4	
Διαπερατότητα β_ι *[m²]*	$15.68\text{x}10^{10}$	
Ηλεκτρική αγωγιμότητα συλλεκτών σ_{sol} *[1/Ohm-m]*	20000	
Ηλεκτρική αγωγιμότητα πορωδών *[1/Ohm-m]*	100	
Θερμική αγωγιμότητα k συλλεκτών *[W/m-k]*	35	
Θερμική αγωγιμότητα k μεμβράνης *[W/m-k]*	0.67	

Στο *Σχήμα 2* δίνονται τα ανύσματα της ταχύτητας και οι ισοταχείς καμπύλες στα κανάλια ανόδου και καθόδου. Η μάζα του μίγματος στην άνοδο καταναλώνεται με τη διάσπαση του υδρογόνου και τη μετατροπή υδρατμών σε νερό στην επιφάνεια του καταλύτη λόγω πτώσης της πίεσης κάτω από την πίεση κορεσμού. Αντίθετα η μάζα του μίγματος στην κάθοδο αυξάνεται με την αντίδραση σχηματισμού υδρατμών. Έτσι, παρά το

γεγονός ότι η πυκνότητα μεταβάλλεται η ταχύτητα στην άνοδο μειώνεται ενώ στην κάθοδο αυξάνεται.

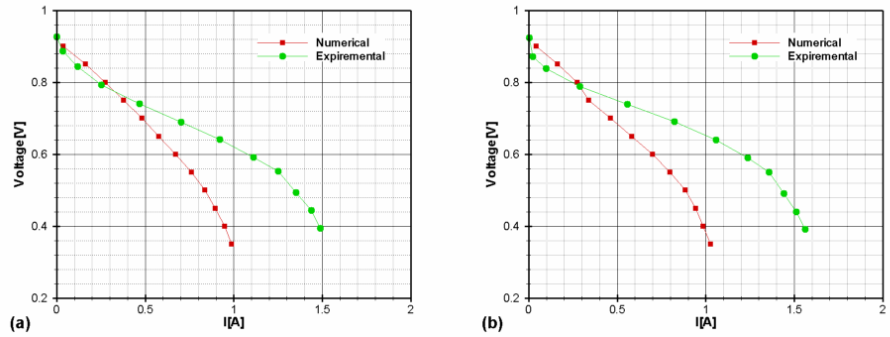


Σχήμα 2. Διανύσματα ταχύτητας και ισοταχείς καμπύλες στα κανάλια ανόδου και καθόδου

Σύμφωνα με την εργασία [13] οι περιοχές μικρής έντασης ρεύματος, κοντά στην τάση ανοιχτού κυκλώματος επηρεάζονται κυρίως από τη διαπερατότητα της μεμβράνης και τις απώλειες υπέρτασης ενεργοποίησης των ηλεκτροδίων. Η περιοχή που αντιστοιχεί σε μέσες τιμές έντασης ηλεκτρικού ρεύματος επηρεάζεται από την ωμική αντίσταση η οποία καθορίζει την κλίση της καμπύλης τάσης – ρεύματος. Τέλος η περιοχή υψηλών τιμών έντασης ηλεκτρικού ρεύματος επηρεάζεται από τη συγκέντρωση των αντιδρώντων στην επιφάνεια των ηλεκτροδίων. Συνεπώς είναι πιθανόν η επιτυχημένη εφαρμογή ενός μοντέλου σε μια περιοχή λειτουργίας δεν εξασφαλίζει την επιτυχία του μοντέλου και σε άλλες περιοχές όπου διαφορετικά φαινόμενα δεσπόζουν. Προκειμένου να πραγματοποιηθεί αυτός ο έλεγχος προσομοιώθηκε η λειτουργία του ευθύγραμμου κελιού για ένα εύρος τάσεων λειτουργίας (0.35–0.9V) για τρεις περιπτώσεις: α) πίεση λειτουργίας P=3atm και θερμοκρασία κελιού T=80°C , β) πίεση λειτουργίας P=3atm και θερμοκρασία κελιού T=50 ^{o}C, και γ) πίεση λειτουργίας P=1atm και θερμοκρασία κελιού T=50°C. Τα αποτελέσματα συγκρίθηκαν με τα αντίστοιχα πειραματικά αποτελέσματα [10] και μεταξύ τους.

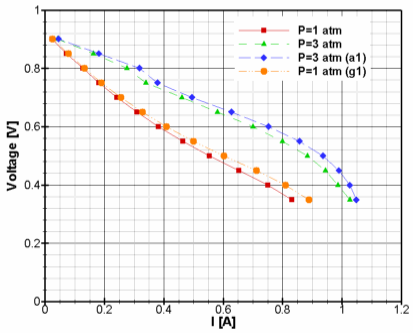
Στο *Σχήμα 3b* δίνεται η καμπύλη τάσης – έντασης ρεύματος για την περίπτωση (α). Ενώ για μικρές τιμές έντασης ρεύματος η σύγκριση είναι ικανοποιητική για μεγαλύτερες τιμές υπάρχει απόκλιση η οποία βαίνει αυξανόμενη. Συνεπώς εμφανίζεται πρόβλημα στην προσομοίωση της επίδρασης της ωμικής αντίστασης στη λειτουργία του κελιού, δεδομένου ότι σε περιοχές υψηλής τιμής έντασης ρεύματος η καμπύλη τάσης-ρεύματος προσεγγίζεται ποιοτικά με ικανοποιητική ακρίβεια. Η παρατήρηση αυτή επιβεβαιώνεται και από τα αποτελέσματα της περίπτωσης (β) η καμπύλη τάσης –ρεύματος της οποίας, δίνεται στο *Σχήμα 3a*. Προκύπτει μάλιστα ότι όσο μικρότερη είναι η θερμοκρασία λειτουργίας τόσο σημαντικότερη είναι η απόκλιση.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι στην εργασία [10] στην οποία δίνονται τα πειραματικά αποτελέσματα της συγκεκριμένης γεωμετρίας δε δίνονται συγκεκριμένες τιμές για την ηλεκτρική αγωγιμότητα. Ο Djillali στην εργασία [9] έκανε παραδοχές για τις τιμές τους οι οποίες σε περιοχές μικρής έντασης ρεύματος δεν επηρεάζουν σημαντικά τα αποτελέσματα. Προκείμενου να διερευνηθεί η επίδραση των τιμών αυτών στη λειτουργία του κελιού πραγματοποιήθηκαν σειρά προσομοιώσεων με τριπλάσιες τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας για τις περιπτώσεις (α) και (γ) με αποτέλεσμα να κατασκευαστούν οι καμπύλες τάσης – ρεύματος (α1) και (γ1) αντίστοιχα που δίνονται στο *Σχήμα 4*. Από τα αποτελέσματα επιβεβαιώνεται η εξάρτηση της λειτουργίας του κελιού σε περιοχές μεσαίων τιμών έντασης ρεύματος από τις ωμικές απώλειες.



Σχήμα 3. Καμπύλες I-V για P=3atm και T=50°C (a) και P=3atm και T=80°C (b)

Τριπλασιάζοντας την τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας η κλίση της καμπύλης μεταβάλλεται από 60% σε 55% για την περίπτωση πίεσης P=1atm και από 45% σε 43% για την περίπτωση P=3atm. Συνεπώς η επίδραση είναι πολύ σημαντικότερη σε μικρές πιέσεις. Μια τέτοια μεταβολή της κλίσης είναι δυνατό να οδηγήσει σε αύξηση μέχρι και 15% της προβλεπόμενης τιμής της έντασης ρεύματος για μεσαίες εντάσεις ρεύματος ενώ η αντίστοιχη αύξηση για μικρές εντάσεις είναι ασήμαντη. Από το *Σχήμα 4* επίσης προκύπτει ότι η επίδραση της πίεσης λειτουργίας είναι πολύ σημαντική στη λειτουργία ενός κελιού καυσίμου κάτι αναμενόμενο εφόσον εμπλέκεται ροή αερίων και τριπλασιασμός της πίεσης είναι δυνατό να οδηγήσει σε διπλασιασμό της απόδοσης. Ειδικά στην περιοχή μεγάλων τιμών παραγόμενου ρεύματος όπου η καμπύλη τάσης διαμορφώνεται με βάση τη συγκέντρωση αντιδρώντων στην επιφάνεια των ηλεκτροδίων.



Σχήμα 4. Καμπύλες I-V για P=1, 3 atm, T=80 °C και διαφορετικές τιμές ωμικής αγωγιμότητας

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τη σύγκριση των αποτελεσμάτων του παρόντος μοντέλου με μετρήσεις [10] και με αντίστοιχη προσομοίωση [9] προκύπτει ότι αυτό είναι ικανό να προσομοιώνει τη ροή και τα ηλεκτροχημικά φαινόμενα που λαμβάνουν χώρα μέσα σε ένα κελί καυσίμου με ικανοποιητική ακρίβεια στην περιοχή μικρών τιμών έντασης ρεύματος.

Δεδομένου όμως ότι διαφορετικές παράμετροι δεσπόζουν στη λειτουργία του κελιού καυσίμου για διαφορετικές περιοχές έντασης ρεύματος θα πρέπει να επιλεγούν ιδιαίτερα προσεκτικά οι τιμές τους κατά την προσομοίωση αυτού, διαφορετικά είναι δυνατό να

εξαχθούν παραπλανητικά αποτελέσματα. Ειδικά για την επιτυχή πρόβλεψη της απόδοσης του κελιού καυσίμου στην περιοχή μεσαίων τιμών έντασης ρεύματος είναι κρίσιμο στοιχείο η γνώση της πραγματικής τιμής της ηλεκτρικής αγωγιμότητας και η σωστή μοντελοποίηση της επίδρασής της. Συνεπώς η επιτυχής πρόβλεψη της λειτουργίας σε μια περιοχή δε συνεπάγεται αυτομάτως τη δυνατότητα χρήσης του μοντέλου σε όλο το εύρος της λειτουργίας του. Θα πρέπει να ελέγχεται η ακρίβειά του μοντέλου σε όλο το εύρος που καλύπτει η καμπύλη ρεύματος – τάσης. Η επίδραση αυτή είναι σημαντικότερη σε χαμηλές θερμοκρασίες και πιέσεις λειτουργίας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Berning, T., Lu, D.M. and Djilali, N. 2002. Three-dimensional computational analysis of transport phenomena in a PEM fuel cell. Journal of Power Sources, 106:284-294.
2. Singh, D., Lu, D.M. and Djilali, N. 1999. A two-dimensional analysis of mass transport in proton exchange membrane fuel cells. Intl. J. of Engineering Science, 37: 431-452.
3. Djilali, N., Lu, D.M. 2002. Influence of heat transfer on gas and water transport in fuel cells. Intl Journal of Thermal Sciences, 41:29-40.
4. You, L., Liu, H. 2002. A two-phase flow and transport model for the cathode of PEM fuel cells. International Journal of Heat and Mass Transfer, 45:2277-2287.
5. Dutta, S., Shimpalee, S. and Van Zee, J.W. 2000. Three-dimensional numerical simulation of straight channel PEM fuel cells. Journal of Applied Electrochemistry, 30:135-146.
6. Dutta, S., Shimpalee, S. 2000. Numerical prediction of temperature distribution in PEM fuel cells. Numerical Heat Transfer, Part A, 38:111-128.
7. Berning, T., Djilali, N. 2003. Three-dimensional computational analysis of transport phenomena in a PEM fuel cell – parametric study. Journal of Power Sources, 124: 440-452.
8. Nguyen, P.T, Berning, T. and Djilali, N. 2004. Computational model of a PEM fuel cell with serpentine gas flow channels. Journal of Power Sources, 130:149-157.
9. Sivertsen, B.R, Djilai, N. 2005. CFD-based modeling of proton exchange membrane fuel cells', Journal of Power Sources. 141: 65-78.
10. Wang, L., Husar, A., Zhou, T. and Liu, H. 2003. A parametric study of PEM fuel cell performance. Intl Journal of Hydrogen Energy, 28:1263-1272.
11. Μπαξεβάνου, Α.Α., Φείδαρος, Δ.Κ., Τσιακάρας, Π. και Βλάχος, Ν.Σ. 2007. 3Δ προσομοίωση ροής και φαινομένων μεταφοράς σε κελί καύσιμου υδρογόνου. 2*ο Πανελλήνιο Συνέδριο Μηχανολόγων - Ηλεκτρολόγων,* Αθήνα Απρίλιος, 2007
12. Patankar, S.V. 1980. *Numerical Heat transfer and Fluid Flow.* Hemisphere, Washington, D.C.
13. Berning, T. 1997. *Three – dimensional computational analysis of transport phenomena in a PEM fuel cell.* PhD Thesis, Dept of Mechanical Engineering, RWTH Aachen.

(236)

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΡΟΜΠΟΤΙΚΗΣ ΠΛΑΤΦΟΡΜΑΣ ΧΑΜΗΛΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ ΓΕΩΡΓΙΚΩΝ ΠΡΑΚΤΙΚΩΝ

Τρέσσος Κ.Δ., Ανδρέου Ι.Α., Blackmore S. , Φουντάς Σ., Γέμτος Θ.Α.
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Γεωπονίας, Φυτικής Παρ/γής & Αγρ. Περιβάλλοντος. Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας, Οδός Φυτόκου, Ν. Ιωνία Μαγνησίας, Τ.Κ. 38446. E-mail: *kostastressos@yahoo.com*

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται μία αυξανόμενη τάση στην μελέτη και στην κατασκευή αυτοκινούμενων οχημάτων, με σκοπό τη διαχείριση μεμονωμένων φυτών, κυρίως σε καλλιέργειες μεγάλης αξίας. Ουσιαστικό ρόλο σε μια τέτοια διαχείριση αναμένεται να παίξουν αυτόνομα οχήματα που θα μειώσουν το κόστος εργασίας. Προς την κατεύθυνση αυτή αναπτύχθηκε η αυτόνομη πλατφόρμα SAVAGE (Supportive Autonomous Vehicle for Agriculture) η οποία στηρίζεται στο χαμηλό κατασκευαστικό κόστος προσανατολισμένο στις ανάγκες της ελληνικής γεωργίας. Η ρομποτική πλατφόρμα βασίζεται στην κατασκευή μιας εύρωστης μηχανικής βάσης σε συνδυασμό με ένα σύστημα ελέγχου των επιμέρους ηλεκτρομηχανικών ενεργοποιητών καθώς και των αισθητηρίων μονάδων. Προκαταρκτικές δοκιμές με μεμονωμένους τροχούς έδειξαν τις δυνατότητες του συστήματος.

DESIGN AND DEVELOPMENT OF A ROBOTIC LOW COST PLATFORM FOR AGRICULTURAL PRACTICES

Tressos, K.D., Andreou, I.A., Blackmore, S., Fountas, S., Gemtos, T.A.
Laboratory of Farm Mechanization, University of Thessaly Fytoko street, N. Ionia, 38446 Magnesia, E-mail: *kostastressos@yahoo.com*

ABSTRACT

Over the last years there is a trend into the study of autonomous vehicles to manage individual plants, mainly of high value crops. An autonomous platform, SAVAGE (Supportive Autonomous Vehicle for Agriculture) developed, which is based on low cost, fit into the Greek conditions in agriculture. The robotic platform is based on a robust structure in combination with a control system and a set of sensors. Initial testing of the work of individual wheels showed the ability to control the platform through software. Initial tests have shown the capabilities of the system.

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η διεθνής πρακτική στην αντιμετώπιση των προβλημάτων της γεωργικής παραγωγής τείνει στην ενσωμάτωση ολοένα και περισσότερων τεχνολογιών αιχμής που μπορούν να χρησιμοποιηθούν από τον παραγωγό ως εργαλεία διαχείρισης των αγροκτημάτων του. Την μεγαλύτερη δυναμική προς την ενσωμάτωση νέων τεχνολογιών και κυρίως της αυτοματοποίησης των γεωργικών διεργασιών κατέχουν οι τεχνολογίες της τεχνητής νοημοσύνης και ρομποτικής. Και οι δύο τεχνολογίες έχουν διερευνηθεί εκτενέστερα και έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως σε βιομηχανικό περιβάλλον. Το βιομηχανικό περιβάλλον είναι σαφώς ευκολότερο από το γεωργικό καθώς πολλές εργασίες είναι στατικές αλλά και οι χώροι είναι συγκεκριμένοι σε διαστάσεις με ελάχιστες ανωμαλίες ενώ οι συνθήκες κλίματος είναι προβλέψιμες. Η χρήση όμως ευφυών συστημάτων στο ανοιχτό περιβάλλον ενός αγρού αποτελεί έναν από τους ακρογωνιαίους λίθους της διείσδυσης των επιστημών της μηχατρονικής και της πληροφορικής στην καθημερινή γεωργική πράξη και στην καλύτερη διαχείριση του αγροκτήματος σε επιμέρους τμήματα και όχι σε καθολική διαχείριση.

Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται μία αυξανόμενη τάση στην μελέτη και στην κατασκευή αυτοκινούμενων οχημάτων, με σκοπό τη μείωση του κόστους εργασίας και την μικρότερη συμπίεση του εδάφους, λόγω της μεγάλης δυναμικότητας των μηχανημάτων (ιδιαίτερα συγκομιδής) που έχουν φτάσει στα όρια αντοχής του εδάφους. Ήδη, ερευνητές σε πολλά μέρη αναφέρουν προβλήματα από συμπίεση του εδάφους από μηχανήματα με βάρος πάνω από 15 τόνους ανά άξονα [1]. Οι Blackmore et al. (2005) ανέπτυξαν επίσης μία μεθοδολογία για την ανάλυση των γεωργικών καλλιεργητικών δραστηριοτήτων σε μορφή που εύκολα θα μπορεί να προγραμματιστεί από έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή [2]. Πολλές εφαρμογές αυτόνομων οχημάτων εμφανίζονται σε πολλές περιοχές της Ευρώπης και του Κόσμου. Τέτοιου τύπου ερευνητικά αυτόνομα οχήματα είναι το ACW (Autonomous Christmas Tree Weeder) του Πανεπιστημίου της Κοπεγχάγης [3], όπως και η πλατφόρμα API με κίνηση και στους τέσσερις τροχούς του Πανεπιστημίου τους Άρχους της Δανίας. [4]. Η οικονομικότητα αυτοκινούμενων οχημάτων, όπως για κοπή χόρτου σε γήπεδα γκολφ, έχει αποδειχθεί σε χώρες με υψηλό κόστος εργασίας [5]. Σημαντική έρευνα έχει γίνει για την ανάπτυξη αλγορίθμων για κατεύθυνση των αυτόνομων οχημάτων στο χωράφι [6]. Στο εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας του Π.Θ έγινε προσπάθεια ανάπτυξης μιας πλατφόρμας που να μπορεί να κινείται στο χωράφι καθοδηγούμενη από ένα RTK –GPS. Στόχος ήταν η δημιουργία μιας φτηνής κατασκευής που θα αποτελέσει βάση για δοκιμές διαφόρων αλγορίθμων αλλά και αισθητήρων στο χωράφι και να αποτελεί βασικό εργαλείο έρευνας για μελλοντικές εφαρμογές. Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται τα βασικά στοιχεία σχεδιασμού και κατασκευής της ενώ οι δοκιμές λειτουργίας της έχουν για την ώρα περιοριστεί στον έλεγχο λειτουργίας μεμονωμένων τροχών.

Η υπό ανάπτυξη πλατφόρμα ονομάστηκε SAVAGE (Supportive Autonomous Vehicle for Agriculture). Η κατασκευή και η λειτουργία της στηρίζεται στην πλατφόρμα API και αναφέρεται στην προσπάθεια υλοποίησης ενός πλήρως αυτόνομου, αλλά χαμηλού κατασκευαστικού κόστους ρομποτικού οχήματος γενικού σκοπού προσανατολισμένου στις ανάγκες της ελληνικής γεωργίας. Η ρομποτική πλατφόρμα βασίζεται στην κατασκευή μιας εύρωστης μηχανικής βάσης σε συνδυασμό με ένα σύστημα ελέγχου των επιμέρους ηλεκτρομηχανικών ενεργοποιητών καθώς και των αισθητηρίων μονάδων. Η φιλοσοφία του συστήματος είναι η διατήρηση του κόστους παραγωγής σε όσο το δυνατόν χαμηλά επίπεδα, χωρίς όμως υποχώρηση στην απόδοση και την ευελιξία του συστήματος, ούτως ώστε η ρομποτική πλατφόρμα να δύναται να ολοκληρώσει συγκεκριμένες εργασίες στα όρια ενός τυπικού ελληνικού αγροτεμαχίου.

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται το μηχανική κατασκευή και τα ηλεκτρονικά της πλατφόρμας.

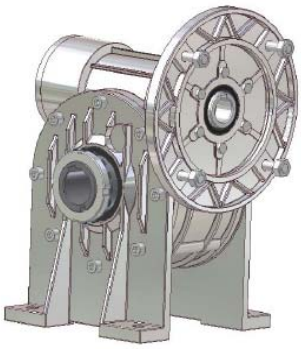
2 ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ

Η μηχανική δομή της πλατφόρμας έχει σχεδιαστεί με τρόπο ώστε να επιτρέπεται η κατασκευή της και η επιδιόρθωση της ακόμα και σε τοπικά μηχανουργεία. Πρωτεύοντα ρόλο στην διαδικασία της κατασκευής παίζει η διατήρηση του συνολικού βάρους σε όσο το δυνατόν χαμηλά επίπεδα, σε αντίθεση με αυτό έρχεται η διατήρηση του κόστους κατασκευής σε χαμηλά επίπεδα και η κατασκευαστική ακρίβεια που πρέπει να επιτευχθεί. Η πλατφόρμα κατασκευάσθηκε σε τοπικό μηχανουργείο στην περιοχή Βελεστίνου, σε σχέδια του Εργαστηρίου Γεωργικής Μηχανολογίας του Π.Θ.

Το σώμα της πλατφόρμας, η οποία κατασκευάστηκε από χυτοσίδηρο για μείωση τους κόστους κατασκευής, αποτελείται από μια κεντρική ορθογώνια βάση επάνω στην οποία εδράζονται τέσσερα όμοια πόδια με δύο βαθμών ελευθερίας το καθένα (Σχήμα 1). Η πλατφόρμα έχει σταθερό μήκος στα 1,4 μέτρα και τόσο το ύψος όσο και το πλάτος, μεταβλητό στα 0,6-0,9 μέτρα. Οι τροχοί έχουν διάμετρο 0,40 μέτρα και πλάτος ελαστικού 0,10 μέτρα. Κάθε πόδι φέρει την πλήμνη και τον τροχό καθώς και μια στροφική άρθρωση που επιτρέπει την αλλαγή πορείας του τροχού. Η γωνία κατεύθυνσης του τροχού και η ταχύτητα του οδηγούνται από δύο όμοιους κινητήρες συνεχούς ρεύματος σε κάθε πόδι. Ο κάθε κινητήρας έχει ισχύ 200 W, ταχύτητα 3000 rpm και βάρος 3 κιλά (Σχήμα 2). Η ισχύς των κινητήρων εκτιμήθηκε για κίνηση σε συνήθεις συνθήκες κίνησης των μηχανημάτων καλλιεργητικών φροντίδων δηλαδή σε σχετικά ξηρό επίπεδο και ομαλό έδαφος. Εκτιμήθηκε ο συντελεστής τριβής κυλίσεως (Kilgour) για τις συνθήκες αυτές εκτιμήθηκε η αντίσταση στην κίνηση για το βάρος της πλατφόρμας και υπολογίστηκε η ισχύς για τις επιθυμητές ταχύτητες. Οι κινητήρες ενώνονται σε κιβώτια σχέσεων (gearboxes) τα οποία επιτρέπουν την μείωση των στροφών, όπου για τους κινητήρες κατεύθυνσης η μείωση είναι 100/1 και για τους κινητήρες κίνησης 60/1 (Σχήμα 3). Επιπροσθέτως κάθε πόδι φέρει τα απαραίτητα ηλεκτρονικά για την υλοποίηση όλων των λειτουργιών της μονάδας (κατεύθυνση και ταχύτητα τροχού) καθώς και την επικοινωνία με την κεντρική μονάδα ελέγχου που βρίσκεται στο κεντρικό τμήμα της πλατφόρμας.

Σχήμα 1. Ρομποτική πλατφόρμα SAVAGE

Σχήμα 2. Κινητήρες κατεύθυνσης και κίνησης DACU



Σχήμα 3. Κιβώτια σχέσεων (gearboxes) SITI

3. ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ

Το σύστημα ελέγχεται κεντρικά από έναν υπολογιστή βιομηχανικής χρήσης τύπου PC/104 (Σχήμα 4). Ο υπολογιστής αυτός είναι εξοπλισμένος με πλήθος θυρών επικοινωνίας για σύνδεση διάφορων περιφερειακών και δικτύωσης και σκληρό δίσκο για τον λογισμικό και την συλλογή δεδομένων. Το περιβάλλον εργασίας που χρησιμοποιούμε είναι τα Microsoft Windows XP (ενδέχεται να χρησιμοποιηθεί η έκδοση Embedded των Windows για περισσότερη σταθερότητα). Ρόλος αυτής της υπολογιστικής μονάδας είναι η συλλογή και αξιολόγηση των δεδομένων από τα αισθητήρια όργανα έτσι ώστε να παρέχει ένα αποδοτικό σύστημα οδήγησης και εντοπισμού της ακριβούς θέσης του οχήματος. Οι αισθητήρες που συνοδεύουν την πλατφόρμα είναι:

1. DGPS σταθερό στην πλατφόρμα, τύπου AgGPS 252
2. RTK GPS για διόρθωση του στίγματος εντοπισμού, τύπου AgGPS RTK Base 450
3. Ψηφιακή πυξίδα για υπολογισμό του παραμέτρων orientation, roll και pitch
4. Ψηφιακοί κωδικοποιητές (encoders), για feedback από τους 8 κινητήρες για γωνία στροφής και ταχύτητα

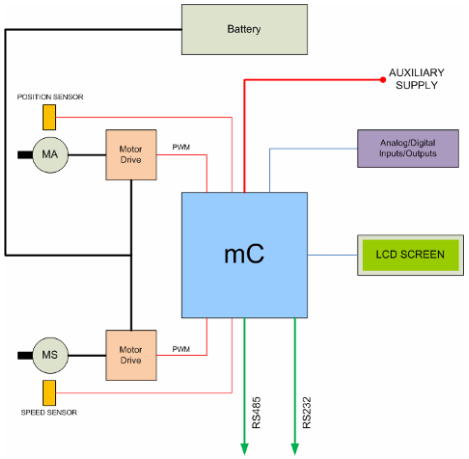
Σχήμα 4. Κεντρικός υπολογιστής PC/104

Σχήμα 5. Ψηφιακή πυξίδα HMR3000

Σχήμα 6. Ψηφιακοί κωδικοποιητές (Encoder) HEDS-5701

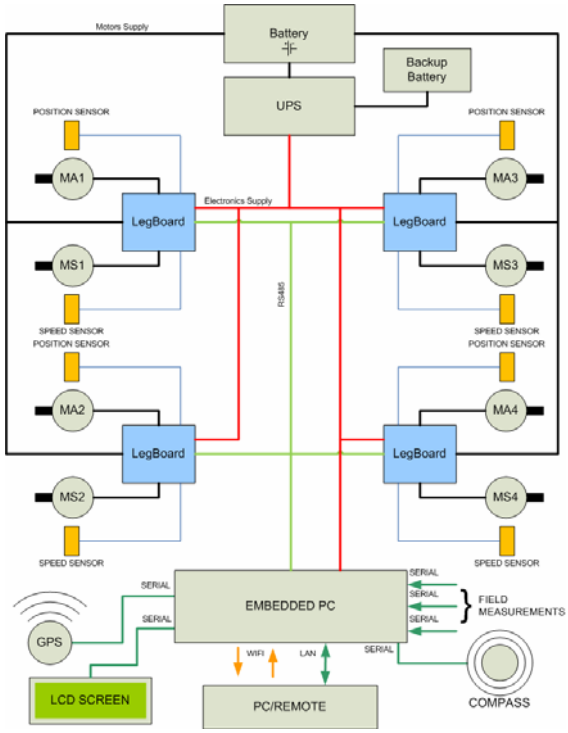
Η βασική έκδοση της πλατφόρμας εκτός από την μονάδα ελέγχου περιλαμβάνει τις μονάδες ποδιών με το υποστηρικτικό κύκλωμα της κάθε μίας και τα κυκλώματα τροφοδοσίας στον σχεδιασμό των οποίων δόθηκε έμφαση στον διαχωρισμό τις τροφοδοσία των κινητήρων από την τροφοδοσία των ηλεκτρονικών κυκλωμάτων. Το σύστημα του κάθε ποδιού “LegBoard” (Σχήμα 7) ελέγχει την κίνηση των δύο κινητήρων (γωνία στροφής του ποδιού και ταχύτητας). Το “LegBoard” επικοινωνεί με τον κεντρικό

υπολογιστή μέσω σειριακής επικοινωνίας RS485. Ο χειριστής μπορεί να παρακολουθήσει τις παραμέτρους σε μία οθόνη LCD που υπάρχει σε κάθε πόδι.



Σχήμα 7. "LegBoard" architecture

Η γενική αρχιτεκτονική όλης της πλατφόρμας φαίνεται στο παρακάτω Σχήμα 8. Ο μικρο-υπολογιστής κάθε ποδιού της πλατφόρμας επικοινωνεί μέσω RS485 με την κεντρική μονάδα, και ελέγχει τους δύο κινητήρες του. Οι κινητήρες παίρνουν ενέργεια απ' ευθείας από τις μπαταρίες, ενώ όλα τα άλλα ηλεκτρονικά συστήματα από ένα UPS (Uninterrupted Power Supply).



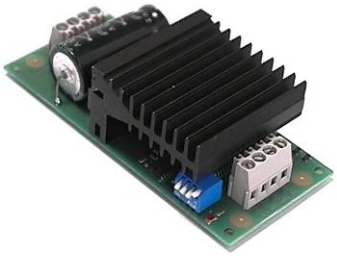
Σχήμα 8. Γενική αρχιτεκτονική του συστήματος

4. ΙΣΧΥΟΔΟΤΗΣΗ

Η ενέργεια παρέχεται από δύο μπαταρίες 12Vdc που δίνουν 24Vdc. Η χωρητικότητα των μπαταριών είναι 100Ah και μπορούν να φορτιστούν με εξωτερικό φορτιστή από το δίκτυο της ΔΕΗ. Η κύρια κατανάλωση ενέργειας προέρχεται από τους 8 κινητήρες, οι οποίοι είναι συνδεδεμένοι απ' ευθείας με τις μπαταρίες. Τα υπόλοιπα ηλεκτρονικά (PC, GPS, Compass, LegBoard) παίρνουν ενέργεια μέσω ενός UPS (Σχήμα 9). Το UPS έχει το πλεονέκτημα της σταθερής παροχής ρεύματος και εφεδρείας σε περίπτωση σφάλματος των μπαταριών. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιούνται και δύο επιπλέον μικρότερες μπαταρίες 12V με χωρητικότητα 7.2Ah. Επιπλέον χρησιμοποιείται και ένας μετατροπέας DC-DC για να παρέχει 12Vdc στον μικρο-υπολογιστή του κάθε ποδιού της πλατφόρμας (Σχήμα 10). Για την τροφοδοσία των κινητήρων χρησιμοποιείται ένα κύκλωμα οδήγησης (motor drive) για κάθε κινητήρα. Ο κάθε κινητήρας είναι 200W, το μέγιστο ρεύμα που θα καταναλώνεται είναι 8.3Amps, ενώ κάτω από ειδικές συνθήκες μπορεί να φτάσει τα 100 Amps. Παρ' όλα αυτά χρησιμοποιήθηκε κύκλωμα οδήγησης 20Amps το οποίο μπορεί να ανταποκριθεί στις ανάγκες του κάθε κινητήρα. Τα motor drive είναι της Devantech και το μοντέλο είναι MD03 (Σχήμα 11), το οποίο συμπεριλαμβάνει μια γέφυρα Η με MOSFET ICs και μπορεί να ενεργοποιηθεί με αναλογικό σήμα, PWM ή μέσω I2C bus.

Σχήμα 9. UPS Siemens DC-USV

Σχήμα 10. DC-DC Converter

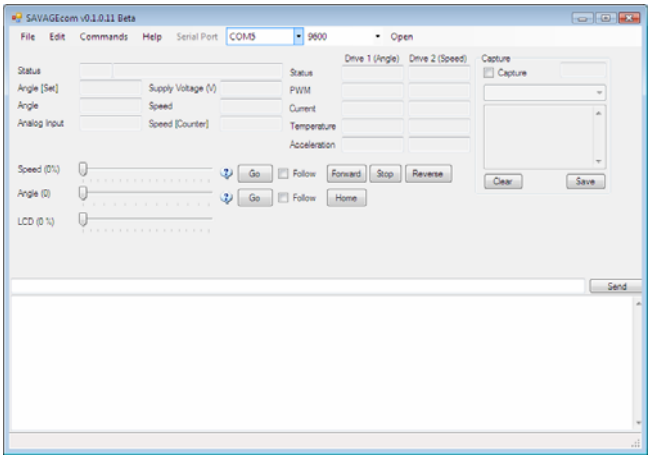


Σχήμα 11.Σερβομηχανισμοί (Motor drivers) MD03

5. ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΔΟΚΙΜΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

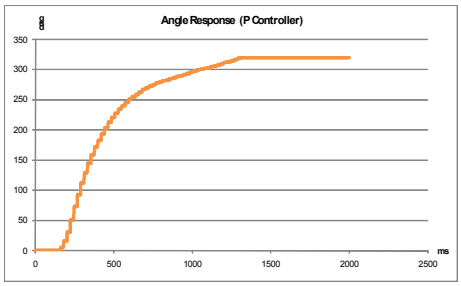
Για την υλοποίηση αρχικών δοκιμών σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε μια βάση τοποθέτησης για ένα πόδι έτσι ώστε να μπορούν να πραγματοποιηθούν οι απαραίτητες μετρήσεις στο χώρο του εργαστηρίου. Η βάση δοκιμών είναι μια απλή κατασκευή η οποία μας δίνει τη δυνατότητα όλων των δοκιμών που έχουν σχέση με τον έλεγχο της γωνίας στρέψης και την ταχύτητας, της επικοινωνίας με τον κεντρικό υπολογιστή καθώς και όλων των λοιπών υποσυστημάτων. Μετά το πέρας των δοκιμών τα υπόλοιπα πόδια του συστήματος θα συναρμολογηθούν, όπως αυτό των δοκιμών.

Ο προγραμματισμός του κυκλώματος ελέγχου (LegBoard) του κάθε ποδιού γίνεται μέσω της τοπικής θύρας προγραμματισμού ή απομακρυσμένα. Έκτος από το κομμάτι του προγραμματισμού του LegBoard, δημιουργούμε και λογισμικό και για τον γενικό έλεγχο όλου του συστήματος. Σε αυτήν την φάση της κατασκευής έχουμε δημιουργήσει λογισμικό για περιβάλλον Windows με το οποίο έχουμε την δυνατότητα να συλλέγουμε πληροφορίες από το LegBoard και να δίνουμε αντίστοιχες εντολές. Η κεντρική οθόνη του συγκεκριμένου προγράμματος (SAVAGEcom) φαίνεται στην παρακάτω εικόνα (Σχήμα 12).

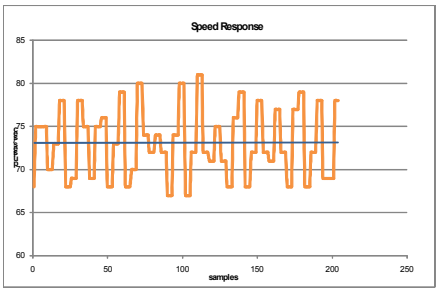


Σχήμα 12. Λογισμικό αποσφαλμάτωσης SAVAGEcom

Στις δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν στον εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας είχαμε την ευκαιρία να παρουσιάσουμε τις δυνατότητες του συστήματος. Σε αυτό το στάδιο έγινε επίδειξη του χειρισμού της ταχύτητας και της γωνίας στρέψης από τον υπολογιστή, όπως επίσης και της δυνατότητας αλλαγής διάφορων παραμέτρων. Κατά την διάρκεια των δοκιμών παρουσιάστηκαν κάποιες μετρήσεις για τον έλεγχο της γωνίας και την ταχύτητας με ή χωρίς την χρήση κάποιου ελεγκτή. Ενδεικτικά αυτών των μετρήσεων φαίνονται στα δύο παρακάτω γραφήματα.



Σχήμα 13. Μετρήσεις γωνίας στρέψης



Σχήμα 14. Μετρήσεις ταχύτητας

Το σημαντικότερο αποτέλεσμα αυτών των δοκιμών ήταν τα προβλήματα τα οποία παρουσιάστηκαν και για τα οποία έγινε συζήτηση για τον τρόπο που θα επιλυθούν. Αυτά τα προβλήματα αφορούν τον προγραμματισμό, διάφορες μηχανολογικές κατασκευαστικές λεπτομέρειες, την στήριξης αισθητηρίων καθώς και την επιλογή κάποιων υποσυστημάτων.

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στόχος της εργασίας είναι η ανάπτυξη μιας ρομποτικής πλατφόρμας γενικής χρήσης βασισμένη σε ανοιχτή αρχιτεκτονική έτσι ώστε να είναι εύκολη η ενσωμάτωση εξειδικευμένων υποσυστημάτων για την ολοκλήρωση γεωργικών εργασιών κυρίως κατά το πρώτο 60% της καλλιεργητικής περιόδου. Το σύστημα έχει σχεδιασθεί έτσι ώστε να μπορεί να μεταφέρει περίπου 40Kg πρόσθετου φορτίου χωρίς μεγάλη απώλεια στην απόδοσή του ή υπερβολική αύξηση της καταναλισκόμενης ενέργειας. Η ενεργειακή απόδοση του συστήματος είναι ένας τομέας ο οποίος πρέπει να διερευνηθεί διεξοδικά

στο μέλλον. Μελλοντικές προσθήκες στο σύστημα θα είναι η ενσωμάτωση διαδραστικής συμπεριφοράς σε δυναμικά εναλλασσόμενα περιβάλλοντα καθώς και η ανάπτυξη περαιτέρω περιφερειακών συστημάτων π.χ. σύστημα εντοπισμού ζιζανίων και καταστροφής αυτών.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Arvidsson, J. 2001. Subsoil compaction caused by heavy sugarbeet harvesters in southern Sweden. I. Soil physical properties and crop yield in six field experiments. Soil and tillage research. Published by Elsevier Science B.V. 60: 67-78.
2. Blackmore, S., Fountas, S., Vougioukas, S., Tang, L., Sørensen, C.G. and Jørgensen, R., 2005. Decomposition of agricultural tasks into robotic behaviors. Journal of the International Commission of Agricultural Engineering (CIGR). Accepted.
3. Have, H., J. Nielsen, S. Blackmore and F. Theilby. 2005. Development and test of an autonomous Christmas tree weeder. In Proc. of 5th European Conference of Precision Agriculture. Uppsala, Sweden, July 9-12, 2005.
4. Bak, T. and Jakobsen, H. 2004. Agricultural Robotic Platform with Four Wheels Steering for Weed Detection. Biosystems Engineering 87(2) 125–136.
5. S. M. Pedersen, S. Fountas, H. Have and B. S. Blackmore, 2005. Agricultural robots – system analysis and economic feasibility. Precision Agriculture 7(4) 295-308.
6. S. Vougioukas, S. Fountas, S. Blakmore, Lie Tang, 2005. Combining Reactive and Deterministic Behaviours for Mobile Agricultural Robots. Operational Research – an International Journal, 5(1).